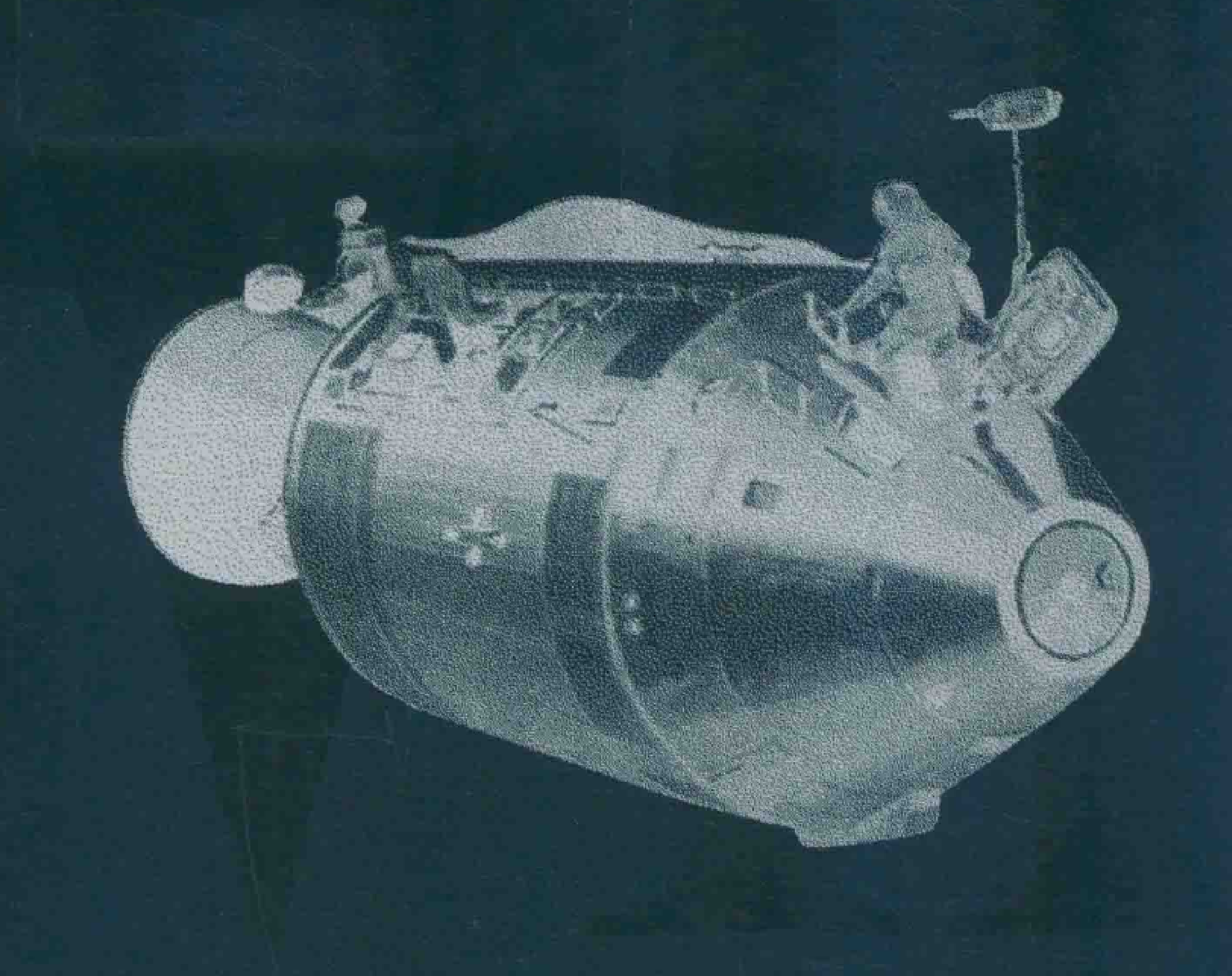
第Ⅶ卷



技术史

A HISTORY OF TECHNOLOGY

主编 【英】特雷弗·I. 威廉斯

主译 刘则渊 蔡小慎

20世纪 下

c. 1900–*c*. 1950

中国工人出版社

第 I 卷	远古至古代帝国衰落 史前至约公元前 500 年	含 36 幅图版，589 幅正文插图
第 II 卷	地中海文明与中世纪 约公元前 700 年至约公元 1500 年	含 44 幅图版，705 幅正文插图
第 III 卷	文艺复兴至工业革命 约 1500 年至约 1750 年	含 32 幅图版，439 幅正文插图
第 IV 卷	工业革命 约 1750 年至约 1850 年	含 48 幅图版，365 幅正文插图
第 V 卷	19 世纪下半叶 约 1850 年至约 1900 年	含 44 幅图版，439 幅正文插图
第 VI 卷	20 世纪 上 约 1900 年至约 1950 年	含 151 幅正文插图
第 VII 卷	20 世纪 下 约 1900 年至约 1950 年	含 329 幅正文插图
第 VIII 卷	综合索引	

这八卷著作构成了一座学识纪念碑。
《自然》（*Nature*）

这是关于技术史的明晰的、权威的资料来源。
《医学史》（*Medical History*）

对技术专家、历史学家、科学家以及普通的读者而言，这是他们学习和激发兴趣的取之不尽的源泉……作为对人类文化之技术方面的完整认识，本书是宏伟的、卓然超群的。
《物理学与技术》（*Physics and Technology*）

整部著作在可预见的未来仍将是对这一主题的最全面的处理，对任何学术图书馆或公共图书馆都是不可或缺的。
《美国历史评论》（*American Historical Review*）

万川
reflections

中国工人出版社微信公众号

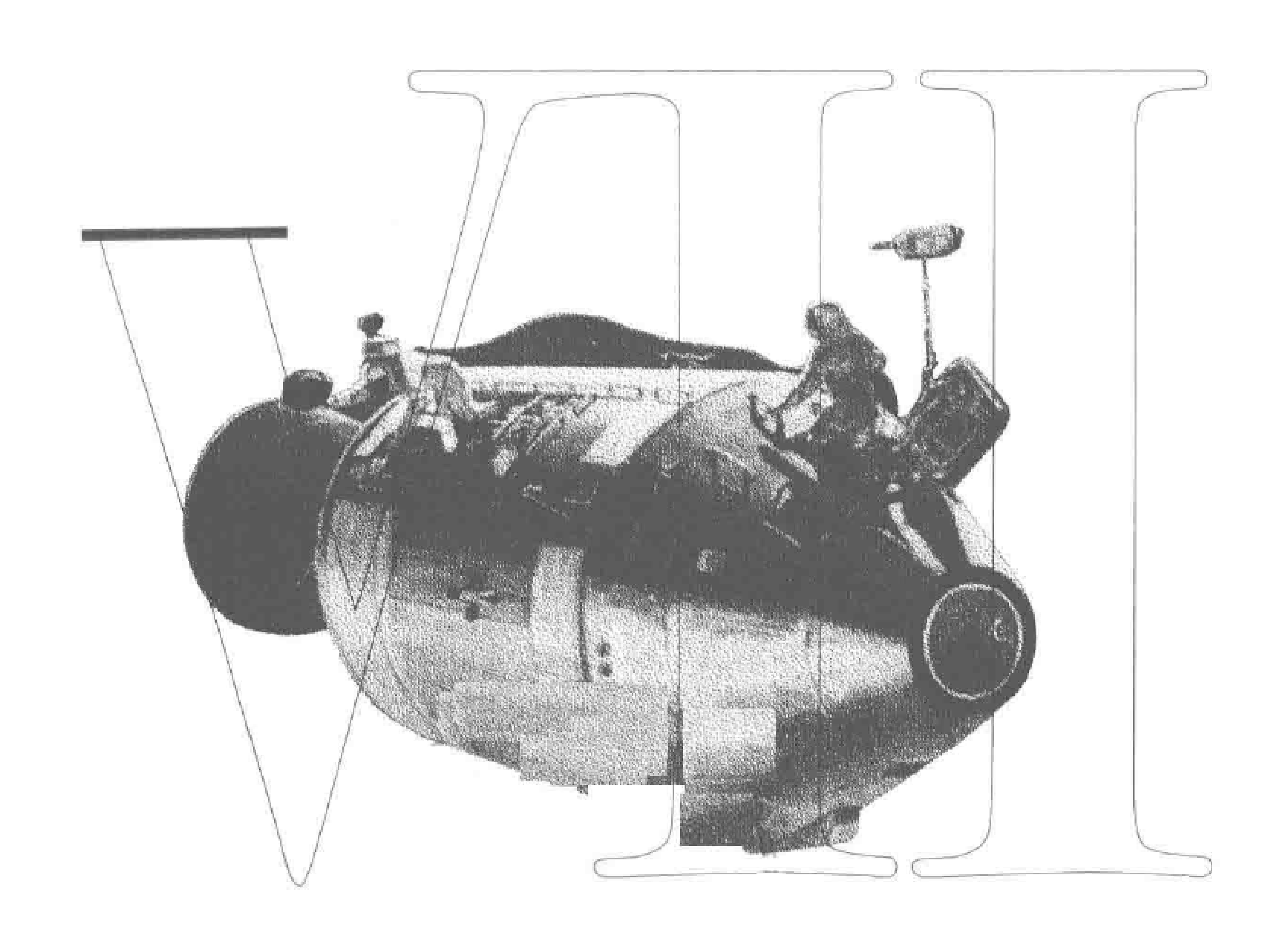



第 VII 卷

上架建议：科技 / 历史
ISBN 978-7-5008-7162-0



ISBN 978-7-5008-7162-0/N·17
定价：248.00 元



技术史

A HISTORY OF TECHNOLOGY

主 编 【英】特雷弗·I. 威廉斯

主 译 刘则渊 蔡小慎

第Ⅶ卷

20 世纪 下

c. 1900–*c.* 1950

中国工人出版社

图书在版编目（CIP）数据

技术史. 第Ⅶ卷，20世纪 下 /（英）特雷弗·I. 威廉斯主编；刘则渊，蔡小慎主译. — 北京：中国工人出版社，2020.9
（牛津《技术史》）
书名原文：A History of Technology
Volume Ⅶ：The Twentieth Century Part II *c.*1900 to *c.*1950
ISBN 978-7-5008-7162-0

Ⅰ. ①技… Ⅱ. ①特… ②刘… ③蔡… Ⅲ. ①科学技术—技术史—世界—20世纪 Ⅳ. ①N091

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第128681号

技术史 第Ⅶ卷：20世纪 下

出 版 人　王娇萍
责任编辑　宋　杨
责任印制　栾征宇
出版发行　中国工人出版社
地　　址　北京市东城区鼓楼外大街45号　邮编：100120
网　　址　http://www.wp-china.com
电　　话　（010）62005043（总编室）（010）62005039（印制管理中心）
　　　　　（010）62004005（万川文化项目组）
发行热线　（010）62005996　82029051
经　　销　各地书店
印　　刷　北京盛通印刷股份有限公司
开　　本　880毫米×1230毫米　1/32
印　　张　29.5
字　　数　820千字
版　　次　2021年6月第1版　2021年6月第1次印刷
定　　价　248.00元

本书如有破损、缺页、装订错误，请与本社印制管理中心联系更换

著作权合同登记号：图字01-2018-3847

ISBN 978-7-5008-7162-0

《技术史》编译委员会

出版人
王娇萍

策　划
董　宽

特约策划
潘　涛　姜文良

统　筹
董　虹

版　权
邢　璐

责任编辑
左　鹏　邢　璐　董　虹　罗荣波
李　丹　刁艳群　宋　杨　金　伟

审　校
安　静　王学良　李素素　葛忠雨　黄冰凌
李思妍　王子杰　王晨轩　李　骁　陈晓辰

特约审订
潘　涛

第Ⅶ卷主要译校者

王慧莉　孙希忠　刘则渊　陈　悦　郭涵宁
蔡小慎
（以姓氏笔画为序）

第Ⅵ、Ⅶ卷前言

这部《技术史》的前5卷是在1954—1958年这段时间出版的。在第Ⅴ卷的前言中，我与当时的共同主编辛格(Charles Singer)、霍姆亚德(E. J. Holmyard)、霍尔(A. R. Hall)一起，列举了“一系列说明为什么不可能将该技术史一直写到20世纪的理由”。而现在，读者们却读到了继前5卷之后的第Ⅵ卷和第Ⅶ卷，所以他们可能会问，到底是什么原因使主编者改变了初衷?

我们当时提出的一个理由是，如果把20世纪包括进来，那么由于篇幅的增加所需的费用将会超过我们所能负担的限度。这从当时来看，无疑是正确的。我们那时能得到的资金，编完前5卷时已经告罄；而当时也无法预测这部书中任何一卷能有个保本的销量。后来，事实证明我们原先的估计错了，对该书第一版的需求就超过一开始我们最乐观的估计印数的好几倍。不仅如此，该书除了在美国由科学书社图书馆大量印刷发行，还有意大利文版和日文版。因此，尽管我们发现，要像前5卷论述人类有史以来直到1900年的技术史那样，来论述20世纪前50年各个领域的发展情况，将需要两卷而不是一卷的篇幅，但事实说明，这样做不仅会受欢迎，而且也是可行的。

当时认为应把1900年作为技术史写作终点的另一个理由是，要对新近发生的事件作出评价，指出其中哪些具有历史意义，哪些不具

有历史意义是极其困难的。而随着时间的推移，在一定程度上作出这一评价已经变得不那么困难了。假如我们在当时就试图把技术史写到1950年，那就不是写历史，而是在写时事了。而现在，到了20世纪70年代后期，我们至少具备了这样一个有利条件，即离我们将要对其进行评价的这个新时期（1900—1950年）的最后一年，也已经过去了1/4世纪。近年来，研究人类在其他领域活动的一些历史学家在记录并评价比较近期的事件，尽管这样的事例还不多，但也许可以鼓励从事技术史编写的史学工作者们，相信自己也有能力做好同样的事情。

当时我们把技术史搁笔于20世纪初的第三个理由是，要用“相对来说非专业的方式，来叙述近期的技术发展是不可能的”。这一观点至今依然正确，尽管我们当时过高地估计了一些技术领域的困难。同样随着时间的推移，这一情况在某种程度上发生了变化。20世纪的技术成就，尤其是这些成就对第二次世界大战进程产生的惊人影响，使各国政府再也不怀疑科学对于促进人类物质繁荣（这种繁荣又表明了社会的进步）的潜在贡献和巨大的战略重要性。这反映在中学和大学教育的迅速发展方面。其做法是：既拓宽基础又强调培养学生在数学方面的能力和对基本科学原理的理解能力。这一活动开展已久，至今已形成了整整一代的新读者，他们能理解一定程度的专业论述，而对此他们的前辈是望尘莫及的。再者，今天读者的兴趣也发生了显著的变化。前5卷主要告诉读者，什么东西被制造了，以及是如何制造的。但是今天，由于经济、社会、政治等因素对于技术发展显而易见的影响，使得人们对这些方面的兴趣日益增长，这一点不容忽视。这些问题都很复杂且彼此相互影响，但它们是人们普遍关注和争论的题材。要把这些题材向一般读者解释清楚并不容易，但是这属于另一种类型的困难，比起叙述纯科学问题方面的困难要容易得多。

当然，这些非技术因素在多大程度上彼此相关，是一个有争议的问题。有一种极端的看法，认为基础历史著作就要面面俱到，对各方

面的考虑都得与假设的情况大致相称。我不同意这种观点。我认为，进行某种程度的分类乃是不可避免的。我们可以利用由此而积累起来的知识，进行各种更广泛（但并非透彻）的综合。我也同样不赞成另一种力图将技术史完全与外界环境分割开来的狭隘观点。不能回避的事实是，技术的历史常常深受外界各种事件的影响。例如，没有人会怀疑，要是没有第二次世界大战，原子能开发的历史将会完全是另一种情况。无疑，原子能的开发也不会成为这两卷中的重要章节了。总体说来，技术史充分地影响着世界上的许多事件，同时又充分地受到这些事件的影响。毫无疑问，事件的意义，即引起这些事件的原因及其结果，难道不是与这些事件本身一样重要，一样引起人们的关注吗？假如人们相信过去的教训是将来行动的指南，那么这一观点就将适用于所有产生重大影响的事件。为了强调这一点，在这两卷的开始部分，对世界史进行了简短的历史评述，目的是让读者了解后面专业的章节的一些背景。

这些就是当时的指导原则，但要把它们变成可行的计划却是一项长期的、艰巨的工作。有人天真地认为，依靠过去的经验，最终会出现一个完美的方案。在此方案中，每一个要考虑的主题都得到合理的安排，既避免了重复，也不会漫无头绪，就好像无望变成晶体的沉淀物，突然在试管里变成了一些闪闪发亮的晶体。然而，现实却完全不同。虽然有些计划确实明显优于另外一些，却没有什么计划是完全理想的。所以，某些题材可以被列在不同的标题下。例如，肥料既可列在“由化学工业生产肥料”这一标题下，也同样可以放在“肥料在农业上的应用”这一标题下。同样，对于聚合物，我们也必须既把它们当作原材料来考虑其制备，也可以按照它们后来转变成的服装、电气器材、家用设备和油漆来考虑其用途。我们到底应该把所有这些不同方面一起来考虑，还是应该把它们分列在化学、农业、纺织、电气、油漆等工业的章节里呢？另外，如果只考虑到重复会浪费宝贵的篇幅，

那么从理论上讲，应该避免重复。但实际上，如果想既不破坏各个章节的统一性、完整性，又根本不出现重复，那是办不到的。最后，在安排任何一个主题时，还得考虑撰稿人方面的因素，既不能忽视他们的强项，也不能忽视他们的局限性。

此外，还有个篇幅长短的问题。例如，一种情况是根据有关技术的经济价值来分配篇幅。还有，某些基础工业（例如煤炭、玻璃、陶瓷）的技术与化学工业或者新兴的电子工业相比，相对来说比较简单。所以，我试图做到既考虑主题的重要性，也顾及把该主题论述清楚所需要的篇幅，因为在尚未收到稿件以前这些问题即已出现。

最后，还有内部的不一致性问题。当然，最理想的是对于简单的事情，例如日期、人名首字母、地名等，不应该出现不一致。避免这些混乱，本来就是主编的任务。可是，还会有较难处理的第二层面上的不一致性。例如，由于种种原因，作者获得统计资料的来源不同，这些来源之间有时会相互矛盾。还有更深一个层面上的不一致性，我们更难评定孰是孰非。这种不一致性是由于观点相左引起的。例如，在评论技术创新（technological innovation）的基本原因或者政府管理的影响时，就会产生这种不一致性。一般说来，这说明了一个事实，即该问题还在发展进程中，还大有可以争议的余地。在这种情况下，编辑不应该要求唯一的阐释。读者有权得出他们自己的结论。

考虑到所有这些局限，有必要采用一种切实可行的解决办法。我个人希望不遗漏重大题材，与此同时，我却无法对下列情况表示歉意：第一，少量的重复；第二，在论述个别题目时发生稍稍偏离上下文的现象；第三，某些撰稿人之间观点的不同。在筹划这样一部著作时，会出现无休止的争论。既然要开始做这项工作，就一定要采取一种坚定不移的态度，并且持之以恒。像前5卷一样，我们也不认为这两卷所述是定论的历史。编写此书的目的，只是想提供一个总的大纲，使之成为进行专业性较强的研究的基础。

从新编写这两卷的观点看来，战后科学技术的发展，并非总是有益于人类。25年前，人们普遍认为，科学技术是不会步入歧途的。人们还认为，增进物质繁荣（这是社会赖以进步的基石）的可能性几乎是无止境的。后来的事实证明，那时的盲目乐观是没有道理的。尽管技术进步了——或如某些人所认为的是因为技术进步了，世界仍然充满了冲突与争吵。世界上维持着一种不稳定的和平，从这个意义上讲，新的世界大战还没有吞噬人类。但是，人类之间原先普遍存在的兄弟般的关系，却变得比以往任何时候都疏远了。目前，工商业衰退和通货膨胀几乎成了难以解决的全球性问题。在这种情况下，对《技术史》第Ⅵ、Ⅶ卷的资金投入，就必然要比前5卷更为节制。我碰到的情况是：编辑人手不足，缺少秘书帮忙，插图所需的资金短缺。经济繁荣时所能得到的出版援助在此时都是不足的。尽管如此，在我进行这项工作的过程中，朋友们、同事们给了我很多建议，他们的帮助使我克服了上述不利条件。

如上所述，我一直认为有必要强调经济、社会、政治诸因素。我要求所有的撰稿人都记住这一点。仅此还不够，我还安排了一些章节专门论述这些问题。显然，技术的历史并不仅仅取决于人类从事工作的能力。技术创新需要有利的社会环境，需要资本。它取决于掌握资本的人是否愿意将资本用于某项特定研究，还取决于公众的受教育程度等。同样，我们也不能把技术史与管理和协作的作用分割开来。在当代，“曼哈顿计划”和登月工程代表了技术成就的顶峰。但是，公正地说，这些成就既是技能精湛的科学家和工程师们的胜利，也同样是那些工作极为复杂的管理者们的胜利。

虽然角度有了这样的变化，但这两卷仍是前5卷的延续。尽管它们反映的是20世纪的技术史，但几乎20世纪所有的技术发展都是以先前的实践为基础的。因此，这两卷与前5卷有着大量的“互见”。尽管我们已告知撰稿人，应把自己的阐述限制在1900—1950年这段

时间，但在实际处理时，我们是灵活掌握的。某些技术专题——例如计算机——在这两卷中首次出现，倘若因此就忽略了19世纪那些为现代发展奠定了基础的工作，显然是讲不通的。另一方面，如果这两卷里没有提到空间飞行，没有提到原子能的发现，读者肯定会大失所望。一般来说，每一章所涵盖的精确时段是由以下原则决定的：既要尽可能避免开篇突兀，也要尽可能避免结尾不了了之。

尽管通盘筹划这样一部著作是主编义不容辞的责任。但它的具体实施却取决于全体撰稿人。专业的技术史学家为数很少，而且他们中大部分人的兴趣主要集中在20世纪以前的那些时期。所以在开始这些工作时，有一点很清楚：我们必须在很大程度上依靠那些虽然不是专业的史学家，但对自己涉足的领域的近代发展有着真正兴趣的撰稿人。对所有这些撰稿人，我都非常感激。因为，为了能达到这部著作极其严格的总体要求，他们对自己所写的章节都做了充分的准备。既然每位撰稿人对本书都作出了极大贡献，在这里再专门提到某人，似乎会使人反感。尽管如此，在此我还是要感谢欣顿勋爵（Lord Hinton）就“原子能”这一部分给我的特殊帮助。“原子能”这一部分的准备工作真是困难重重，特别是斯彭斯 (Robert Spence) 在准备有关化学方面的内容时不幸去世。公正地说，欣顿勋爵为原子能的历史作出了重大贡献，他不仅驱散了主编的焦虑，而且使本书比原来计划的还要好得多。

正如中国哲学家所说，任何事物都有相反相成的两个方面，正如物理学家们现在研究物质和反物质一样，这部著作的主编不仅要认真对待成功交稿的撰稿人，同样也要认真对待未能完稿的撰稿人。从统计学来看，总会有少数撰稿人无法交出他们所承诺的稿件。所幸的是，在成功交稿的撰稿人与未完稿者之间虽然有些差距必须弥补，可是对于完成本书来说，未完稿者方面的问题并不大。因为只要他们所谈论的题材是必不可少的，就有可能把这些题材合并在某些章节里。我非

常感激有关的撰稿人对我遇到的问题的理解。

因为这是一部国际性的著作，所以要求撰稿人尽可能使用公制，但是也不一定要进行像教科书要求的那样严密的换算。例如，在大多数情况下，我们认为没有必要为绘制图表、示意图或为表格确定新的数值而耗费精力和篇幅。还有，在很多场合下，重要的是相对值而不是绝对值，这时所使用的单位就无关紧要。

至少质量和长度单位是严格互相对应的，这样在某种特定情形下，任何读者想要把一种单位制换算成另一种，都无须太费劲。货币单位是一个不易解决的问题。贸易数额通常不是以重量或体积，而是以币值的形式来表示，而所使用的又是有关国家的货币。这样，我们确实面临一种很不精确又很不可靠的情况，因为随着时间的变化，不仅货币的汇率发生了很大变化，而且对于不同的交易还常常有不同的汇率。例如，一本标准参考书告诉我们，1942 年西班牙的电器设备年产值为 5 亿比塞塔［《不列颠百科全书》(*Encyclopaedia Britannica*) 第 21 卷，146 页，1947 年］，而 1937 年德国出口等量货物的价值为 3.12 亿马克（同上，第 10 卷，251 页）。要在这些数字之间找出实际的对应关系非常困难。20 世纪前半期，美元兑英镑的汇率从 4.86 降到 2.80。在同一时期内，日元兑英镑的汇率从 10 变成了 1010。在很多情况下，货币被重新估价，而且采用了新的货币单位。我们向读者推荐比德韦尔（R. L. Bidwell）的著作《货币换算表》(*Currency conversion tables, Collings*, *London*, 1970)。该表包括了 1870—1970 年间的货币变化，这样，读者就可以在错综复杂的货币关系中理出个头绪来。

由于帝国化学工业公司卓有见识的赞助，提供了非常重要的、必不可少的资金来编排所有文章、实例和插图等，并编辑成适合出版的形式，这部《技术史》的前 5 卷才得以问世。新增加的这两卷，就无法得到这样的赞助了（当然，我们也确实没有去争取这样的赞助）。但是应该承认，没有前几卷的工作，这两卷就无法编纂成书。很高兴

又一次与牛津大学出版社合作，尤其要感谢他们在编辑素材及有关插图方面给予我的协助。最后，对德里（T. K. Derry）博士能参加撰稿并鼓励我完成这一部著作，我感到特别高兴。尽管多年来我们在地理上被北海分开，且新的两卷共有58章——以他撰写的有关历史介绍为第1章，而以我撰写的结论为最后一章，但我常常愉快地回忆起我们密切合作撰写《技术简史》(*A short history of technology*)的那些日子。他教给我很多有关专业史学家的技能。我相信，在我们合作的过程中，他也会更了解讨论工业问题应持的方法和态度。

特雷弗·I. 威廉斯（Trevor I. Williams）

1977年5月于牛津

第Ⅶ卷撰稿人

第 29 章　世界运输市场的发展

K. M. 格威利姆（K. M. GWILLIAM）

利兹大学运输经济学教授

第 30 章　道路车辆

博略的蒙塔古勋爵（LORD MONTAGU OF BEAULIEU）

国家汽车博物馆

第 31 章　船舶和船舶制造

布赖恩·巴克斯特（BRIAN BAXTER）

亚罗（造船）有限公司副总经理

第 32 章　铁　路

O. S. 诺克（O. S. NOCK）

韦斯汀豪斯刹车和信号有限公司前首席机械工程师（信号和采矿部）

第 33 章　飞机和飞行

彼得·W. 布鲁克斯（PETER W. BROOKS）

英国飞机公司国际合作部经理

第 34 章　导航设备

E. W. 安德森（E. W. ANDERSON）

金制勋章获得者，前皇家导航研究所所长

第 35 章　航天技术

安东尼・R. 米凯利斯（ANTHONY R. MICHAELIS）

伦敦《跨学科科学评论》主编

第 36 章　土木工程

P. S. A. 贝里奇（P. S. A. BERRIDGE）

西北铁路公司（印度）、大西部铁路公司和英国西部铁路公司的前桥梁工程师

第 37 章　房屋和建筑学

罗兰・J. 梅因斯通（ROWLAND J. MAINSTONE）

建筑研究所

第 38 章　城镇规划

科林・布坎南爵士（SIR COLIN BUCHANAN）

布里斯托尔大学前高级城市研究学院院长和规划顾问

第 39 章　工程的科学基础

奥布雷・F. 伯斯塔尔（AUBREY F. BURSTALL）

泰恩河畔纽卡斯尔大学机械工程名誉教授

第 40 章　内燃机

林伍德·布赖恩特（LYNWOOD BRYANT）

麻省理工学院历史学名誉教授

第 41 章　汽轮机

艾伦·史密斯（ALLEN SMITH）

泰恩河畔纽卡斯尔帕森斯有限公司希顿工厂机械工程研究部经理

T. 狄克逊（T. DIXON）

泰恩河畔纽卡斯尔帕森斯有限公司涡轮机设计顾问

第 42 章　机　床

罗伯特·S. 伍德伯里（ROBERT S. WOODBURY）

麻省理工学院技术史名誉教授

第 43 章　生产工程

F. 柯尼希斯贝格尔（F. KOENIGSBERGER）

曼彻斯特大学理工学院机床工程学名誉教授

第 44 章　流体动力

海雷的威尔逊勋爵（LORD WILSON OF HIGH WRAY）

水泵和水轮机制造家

第 45 章　电力的生产、分配和利用

布里安·鲍尔斯（BRIAN BOWERS）

伦敦科学博物馆电机工程和通信部

第 46 章 电子工程

J. R. 蒂尔曼（J. R. TILLMAN）

原邮政研究部副主任

D. G. 塔克（D. G. TUCKER）

伯明翰大学技术史高级研究员、原电机工程教授

第 47 章 家用电器

G. B. L. 威尔逊（G. B. L. WILSON）

伦敦科学博物馆机械和土木工程部荣誉副馆员

第 48 章 计算机

汤姆·马杰里森（TOM MARGERISON）

赫默尔亨普斯特德计算机技术公司前主席

第 49 章 仪 器

弗兰克·格里纳韦（FRANK GREENAWAY）

伦敦科学博物馆化学部馆员

第 50 章 电 信

D. G. 塔克（D. G. TUCKER）

第 51 章 印 刷

詹姆斯·莫兰（JAMES MORAN）

印刷史学会主席

第 52 章 摄影术

赫尔穆特·根歇姆（HELMUT GERNSHEIM）

摄影史学家

第 53 章 电影摄影术

戴维·B. 托马斯（DAVID B. THOMAS）

伦敦科学博物馆馆员

约翰·P. 沃德（JOHN P. WARD）

伦敦科学博物馆研究助理

第 54 章 医学技术

奥德丽·B. 戴维斯（AUDREY B. DAVIS）

华盛顿史密森研究所历史和技术博物馆医学部部长

第 55 章 供水与污水处理

F. E. 布鲁斯（F. E. BRUCE）

伦敦大学帝国理工学院公共卫生工程高级讲师

第 56 章 食品工艺

J. B. M. 科波克（J. B. M. COPPOCK）

第 57 章 深海技术

T. F. 加斯克尔（T. F. GASKELL）

第 58 章 技术与生活质量

特雷弗·I. 威廉斯（TREVOR I. WILLIAMS）

《科学进展》杂志主编

第Ⅶ卷目录

第 29 章 世界运输市场的发展 001

29.1 国际海运和空运 002

29.2 航空运输 007

29.3 陆路运输 012

相关文献 022

参考书目 022

第 30 章 道路车辆 023

30.1 客车 023

30.2 货车 036

30.3 公共汽车 042

30.4 电动车辆 045

30.5 摩托车 047

参考书目 051

第 31 章 船舶和船舶制造 052

31.1 船舶设计 052

31.2 船舶类型 053

31.3 油船和班轮 057

31.4 船舶的安全 061

31.5 研究 063
31.6 船舶制造 064
31.7 推进装置 073
参考书目 078
第 32 章 铁　路 079
32.1 机车和运输车辆 079
32.2 铁路和铁路设备 094
32.3 信号和行车调度 096
32.4 世界铁路网的扩建 105
参考书目 107
第 33 章 飞机和飞行 108
33.1 第一批实用飞机 108
33.2 军用飞机 113
33.3 飞艇 117
33.4 航空运输的兴起 121
33.5 通用航空：私人飞行和滑翔 126
33.6 金属单翼机的研制 130
33.7 空军成为支配力量 134
33.8 地面设施和导航设备 140
33.9 喷气推进器 143
33.10 直升机 146
33.11 航空运输业的增长 150
33.12 超音速飞机、垂直或短距起落飞机 155
参考书目 164
第 34 章 导航设备 165
34.1 两项伟大的发明 166
34.2 无线电测向 167

34.3 仪器 169
34.4 声呐和雷达的诞生 172
34.5 电子导航 174
34.6 导弹和仪器 177
34.7 避撞 179
34.8 机载导航辅助设备 181
34.9 惯性导航 183
34.10 技术家 183
参考书目 186
第 35 章 航天技术 187
35.1 梦想与先驱 189
35.2 首批火箭飞行 190
35.3 载人航天 196
35.4 无人航天飞行器 198
35.5 前景 201
相关文献 202
参考书目 202
第 36 章 土木工程 203
第 1 篇 道路、桥梁和隧道 203
36.1 道路 203
36.2 桥梁 209
36.3 隧道 234
参考书目 241
第 2 篇 围海造地、运河、港口和码头 242
36.4 围海造地 242
36.5 运河 247
36.6 港口和码头 256

参考书目 265
第 37 章 房屋和建筑学 266
37.1 材料和部件 268
37.2 施工方法 273
37.3 维护设施和消防设备 277
37.4 理论和设计 280
37.5 新的结构形式 283
37.6 建筑学上的理想、目标和成就 290
相关文献 293
参考书目 293
第 38 章 城镇规划 295
38.1 产业革命对城镇规划的影响 298
38.2 花园城市的概念 301
38.3 城镇规划的立法 302
38.4 城镇规划视野的扩大 304
38.5 英国——具有历史意义的 1947 年法令 307
38.6 各国规划实践的差异 308
38.7 战争破坏的影响 311
38.8 规划的若干成就 312
38.9 教育和规划 315
38.10 城市问题仍是地方性痼疾 316
参考书目 320
第 39 章 工程的科学基础 321
相关文献 332
参考书目 334
第 40 章 内燃机 336
40.1 奥托发动机 337

40.2 柴油机 343

40.3 航空发动机 349

40.4 研究和开发 354

40.5 燃气轮机 357

参考书目 367

第 41 章 汽轮机 368

41.1 冲动式汽轮机和反动式汽轮机 371

41.2 循环效率 373

41.3 船用汽轮机 376

相关文献 378

第 42 章 机 床 379

42.1 车床 380

42.2 铣床 382

42.3 齿轮切削机床 383

42.4 车间精密测量 384

42.5 磨床 385

参考书目 390

第 43 章 生产工程 391

43.1 影响生产工程的因素 392

43.2 生产率 399

43.3 工作场地、设备和人力的利用 401

相关文献 405

参考书目 405

第 44 章 流体动力 406

44.1 容积泵、自吸泵和射流泵 406

44.2 液压系统 409

第 45 章 电力的生产、分配和利用 414

45.1 发电站、汽轮机和发电机 414
45.2 电缆和输电线路 420
45.3 开关装置 426
45.4 变压器和整流器 429
45.5 照明设备 430
45.6 电动机 434
参考书目 438
第46章 电子工程 439
46.1 热阴极电子管 440
46.2 利用电子发射的其他器件 454
46.3 非线性和调制器 458
46.4 电路和系统理论 461
46.5 固态器件 466
46.6 无源元件 471
相关文献 476
参考书目 476
第47章 家用电器 478
47.1 电的使用 480
47.2 真空吸尘器 481
47.3 电炉和炊具 485
47.4 第一次世界大战 487
47.5 煤气灶和煤气取暖炉 488
47.6 固体燃料器具 491
47.7 电蓄热器 493
47.8 洗衣机 493
47.9 家用热水 495
47.10 冰箱 498

47.11 熨烫 500

47.12 其他各种家用电器 500

参考书目 504

第 48 章 计算机 505

48.1 计算机器 514

48.2 键盘式计算机器 524

48.3 自动计算机器：计算引擎 528

48.4 卡片穿孔机 536

48.5 第一代计算机 540

48.6 电子计算机 545

48.7 二进制的存储程序计算机 549

48.8 编程技术的发展 556

48.9 计算机工业的兴起 558

相关文献 561

参考书目 561

第 49 章 仪　器 562

参考书目 579

第 50 章 电　信 580

50.1 电报 580

50.2 电话发展的早期阶段（1876 — 约 1915） 581

50.3 无线电发展的早期阶段（19 世纪 — 约 1910） 592

50.4 电信技术的发展 599

50.5 全球通信 614

50.6 在船舶和车辆上的通信 618

50.7 无线电广播 620

50.8 电视 624

50.9 声音录制和重放 630
50.10 1950 年以前就可觉察到的重大发展趋势 634
相关文献 636
参考书目 636
第 51 章 印 刷 638
51.1 打字机 640
51.2 照相凹版印刷 642
51.3 排字 643
51.4 胶印和照相排字 646
注 释 652
参考书目 654
第 52 章 摄影术 655
52.1 全色摄影材料的生产 656
52.2 感光测定术 657
52.3 曝光表 658
52.4 快门 659
52.5 镜头 660
52.6 摄影器材 662
52.7 小型相机及其他小底片相机 663
52.8 专业摄影室设备 668
52.9 即时成像系统 670
52.10 彩色摄影 670
52.11 放射学 675
参考书目 678
第 53 章 电影摄影术 679
53.1 电影技术的发展 679
53.2 电影胶片 680

53.3 电影制片厂 681

53.4 彩色电影摄影 683

53.5 电影中的音响 687

相关文献 694

参考书目 694

第 54 章 医学技术 695

54.1 医疗器械制造业 700

54.2 牙科行业 702

54.3 医药工业 704

54.4 放射学 706

54.5 麻醉术 714

54.6 心电图描记器 720

54.7 测谎器 724

54.8 血压测量仪器 725

54.9 听诊器 727

54.10 听觉仪器 730

54.11 显微术 731

54.12 外科学 735

54.13 人工假肢和矫形外科术 741

相关文献 743

第 55 章 供水与污水处理 745

第 1 篇 供水 745

55.1 水管理方面的发展趋势 746

55.2 供水的国际性 747

55.3 水源的发展 748

55.4 输水、配水和水泵抽水 753

55.5 水处理 754

55.6 结论 762
相关文献 764
参考书目 764
第2篇 污水及污水处理 765
55.7 城市排污系统 765
55.8 设计方面的进步 768
55.9 材料及施工 769
55.10 污水处理 770
55.11 水污染 778
相关文献 781
参考书目 781
第56章 食品工艺 783
第1篇 食品科学进展的背景概述 783
56.1 19世纪的遗产 783
56.2 20世纪的食品科学理论及实践 787
参考书目 797
第2篇 食品加工及分配 798
56.3 食品的贮藏 799
56.4 一般食品加工 817
56.5 食品工艺及消费者 832
参考书目 835
第57章 深海技术 836
57.1 海底的形状 839
57.2 海床沉积物 846
57.3 地震勘测法 848
57.4 磁性测量法 853
57.5 重力测量法 853

57.6 热流 855
57.7 海洋矿物 855
参考书目 858
第 58 章 技术与生活质量 859
58.1 食品 866
58.2 衣着 868
58.3 住所 869
58.4 交通 871
58.5 环境 873
58.6 能源 874

第Ⅶ卷人名索引 877
第Ⅶ卷译后记 903

第29章 世界运输市场的发展

K. M. 格威利姆（K. M. GWILLIAM）

20世纪前半叶是运输领域技术更新换代的时期。在内陆运输方面，公路代替铁路起着主要作用。在国际运输方面，空运在很大程度上代替了海运。无论是国际还是国内，技术的更新换代都是从客运业开始的，而且成果也最为显著。在货运上，这种更新换代则进行得不太彻底，传统运输方式仍旧保留着，并在远距离大批量运输中依然承担着主要任务，这种状况还将继续保持下去（图29.1）。

找出这些变化的原因并不难。对大部分中短程旅行来说，私人汽车已经变得更舒服、更方便、更迅速，如果多人乘用则比铁路还要便

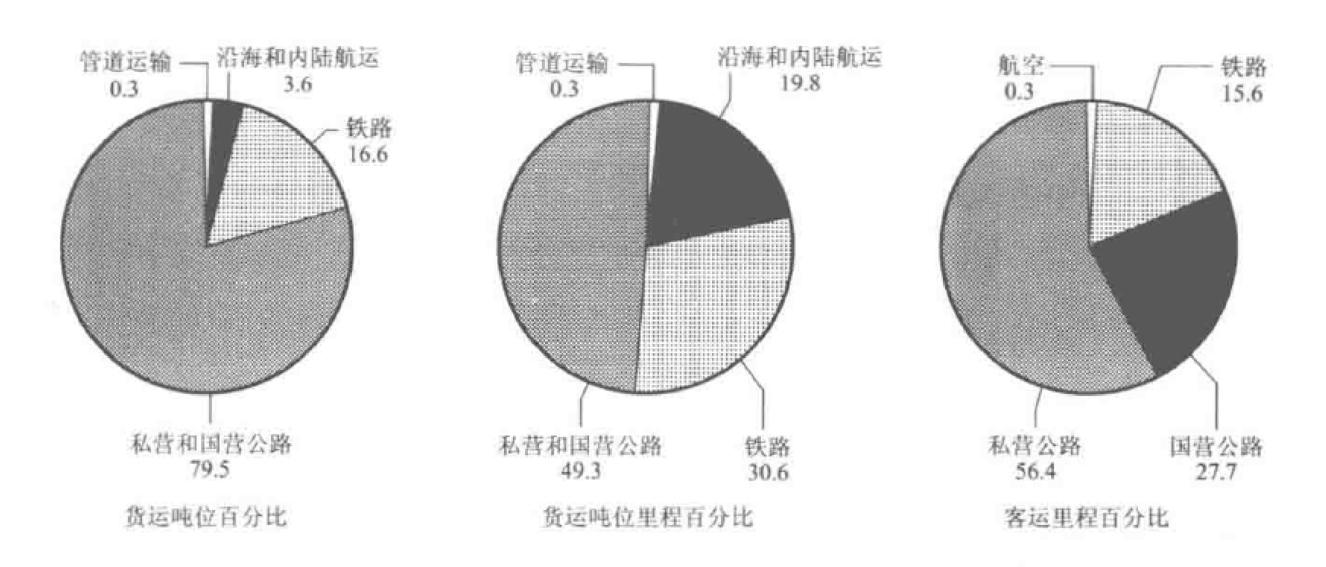


图29.1 英国1960年国内运输业。

宜一些。对较长距离的国际旅行来说，空运在速度上的优势是压倒性的，这足以弥补价格高并且还可能不舒服的缺点。

692 最后，在这些主要趋势中还应该指出一点，空运和公路运输都被看作运输市场上的“高级”商品，与主要竞争对手相比，具有受人青睐的高质量特征。对于空运来说，这反映在每个旅客每英里比其他运输方式更高昂的运输成本。对于私人的公路旅行来说，则反映在购买汽车的花费上。远程旅游的成本，公路旅行倒是一直都有竞争力。所以，运输方式的转换不仅取决于技术优点的相对转换，而且还取决于这个时期收入的提高是否达到允许购买这种“高级”商品的水平。

尽管有这些技术上和收入水平上的变化，铁路和水运都没有完全丧失它们的传统市场，政府面临的主要问题是如何调节适应技术变化，以使所有的运输方式都能找到它们的适当经济角色。此外，由于运输的需求变化无常，政府多年来一直面临着一个问题，即设法保证能继续对与运输供应有关的“外部因素”进行合理调整，而不是简单地强制推行那些有效适应技术变化的措施。

本章共分两部分。在第一部分，我们论述世界贸易和运输方式的变革与随之而来的国际航空、航海交通模式的技术发展之间相互作用的方式。在第二部分，我们论述国内和国际陆地运输系统，并专门论及西方发达经济的经验。

29.1 国际海运和空运

19 世纪后期的大部分国际贸易是大英帝国的海上贸易。到 19 世纪末期，英国的海上贸易由于许多技术创新开始发生彻底的变革。虽然这些创新——从木结构到铁质船、钢质船的转变，从风帆推进到蒸汽推进的变化，以及对三胀式蒸汽发动机的采用——都发端于 19 世纪，技术变革的主要阶段却发生在第一次世界大战前 20 年中（第 31 章）。1913 年在英国注册吨位的船舶中，2/3 建于 1900 年以后，85%

693

建于1895年以后。尽管改为柴油机船后在航运中产生了更大的经济效益，20世纪头10年所建造的最佳船只的性能与现在仍在航行的船只相比，并没有数量级上的差别。例如，建于1907年的“毛里塔尼亚号”(Mauretania)轮船，就是一艘超过3万吨位、航速25节的大型船只。

航运业的组织 干货运输采用两种不同的航运方式，分别是：班轮和不定期货轮。班轮根据预定班期往返固定航线，以固定的价格(为货物或乘客)提供舱位。客货班轮的业务是在1850—1875年间发展起来的。从1875年起，相互竞争的定线货轮的船主们开始结成同业公会，限制某一特定贸易或某一特定航线的竞争。同业公会运用联号经营方式，例如对客商实行延缓装货折扣或有差别的运费率，而不是把客商的货物由会员船只全部一次运出，努力使基本上不稳定的船运业务稳定下来。虽然同业公会确实使航运业务取得了某种稳定性，还有助于保护在两次世界大战之间不受资助的英国航运业，但它似乎也有某些不利影响。这种制度抑制了迅速发展时期的获利能力，大大消除了对效率起刺激作用的竞争，最终伤害了同业公会的成员。它还保护了现存技术，阻挠其向前发展，最终伤害了同业公会的成员。到1900年，大多数班轮公司合并成大型航运集团，并成为同业公会的成员。除了北大西洋贸易以外(在那里，不定期货轮仍占支配地位)，到1913年，大多数英国出口货物均由航运同业公会来承担[1]。

与班轮的正规业务不同，不定期货轮通常在任意两个港口间忙于装运整船货物。租船合同往往是根据旅途签订的。不定期货轮四处航行，以寻找继续被雇用的机会。在运费率和装载量方面，不定期货轮比起班轮更显得变化不定。

在19世纪，不定期货轮都是普通货船。无论在结构上或使用寿命上，它们都比班轮要差一等。专业化以后，情况有所改变。在两次世界大战之间，由于专业化的逐渐发展，不定期货轮的雇主固定在石

油贸易方面，1950 年以后则固定在干货运输方面，它们都是通过定期租船合同来实行的。到 1960 年，世界不定期货轮船队平均每艘船的吨位大约为 1.1 万吨，平均航速为 12 节。大约 25% 的不定期货轮从事专业化航运。

694

海上贸易的发展 1900—1914 年，世界贸易总额大约增长了 66%。虽然这一时期价格在上升，但毋庸置疑的是贸易额确实有了增长。同一时期，世界航运量大约增长了 25%。

第一次世界大战中断了世界贸易的发展，使得世界海上贸易额减少了 20% 左右。海上贸易额虽然在 20 世纪 20 年代增加了 65%，但在经济萧条时期又跌落到 1913 年的水平。直到 1937 年，它才达到 1929 年的贸易额最高点。在此期间，船舶总吨位数变化不大，直到 1931 年才稳步上升，当时的船舶总吨位是 1913 年水平的 150%。因此，1932 年的世界海上贸易大约停留在 1913 年的水平上，而船舶总吨位比 1913 年高出 50% 左右。这一悬殊变化带来了两个明显后果：第一，全世界有 20% 的船队搁置未用；第二，运费率仍然处于一个非常低的水平，比战前要低 25%。因此，对于世界航运业来说，两次世界大战之间是一个非常困难的时期。

世界航运船队的所有权 在第一次世界大战前，英国拥有的航运船队在世界海上贸易中占据着统治地位。尽管太平洋上有日本、大西洋上有德国不断增强的竞争，英国船队在 1914 年仍拥有全世界 39% 的 100 吨吨位以上的船只，并拥有全世界 40% 以上的远洋蒸汽机船和内燃机船。这大约是世界第二大船队——德国船队数量的 4 倍左右。

英国的优势有许多根源。广泛的殖民地贸易政策保证了船队稳定的租用，还有完善的海岸设施和技术优势的巨大支持，这种技术优势是英国在 19 世纪晚期建造铁质蒸汽船时获得的。更重要的是，原煤出口为英国的航运优势打下了基础。在 1914 年前，英国的原煤出口量占海运吨位数的 1/4。

第一次世界大战显著地改变了这种状况。在1914—1919年间，英国和德国共丧失了450万吨的吨位（占世界总吨位的10%左右）。然而，在1914—1920年间，美国船队增加了1000万吨以上。在第一次世界大战期间，日本船队几乎翻了一番，法国和意大利则从德国和奥匈船队的赔偿中得到了很大的好处。在两次世界大战之间，虽然美国船队数目减少了，英国船队数目停滞不前，但许多国家（例如挪威、希腊、日本、意大利和荷兰）的船队数目显著地增加了。到1939年，尽管英国仍然拥有最大的船队，但它所承担的世界航运量已下降到1/4左右。

在此期间，世界航运船队的构成也很明显地受到贸易类型变化的影响。英国的原煤出口从1923年的最高点8450万吨，下降到1938年的3820万吨。同一时期，英国的出口总量几乎减少了一半。在整个世界航运市场最萧条的时候，英国不定期货轮所依赖的基本运输量相应减少。如果英国航运船队要保持世界海上贸易中的总份额，就必须寻找新的、非英国的运输业务。

一个明显增长的领域是世界石油贸易。国际海运石油贸易在1914年前每年大约有1400万吨，1937年时增加到8400万吨，从全世界海上贸易额的5%增加到25%。世界油轮船队规模从1914年的150万吨增加到1938年的1040万吨，其中一半以上为石油公司所有，1/3以上为挪威人所有，英国人所占的运输量不到1/5。因此，世界贸易的主要趋势导致了世界船队的结构和所有权的根本变化。英国不能依靠发展油轮企业来维持自身的地位，部分原因在于英国船队把工资费用定得较高，但主要还是因为英国航运界不能迅速认识到在两次世界大战之间，内燃机船只已经取代了蒸汽机轮船成为经济的商船。

美国、日本和意大利船队的增加，在某种程度上是得到了政府的资助。但是，这不是世界船队结构变化的唯一原因。就日本而言，廉价的劳动力也明显有助于船队的增加。有这样的例子：受到大力资助

的船队并未增加（例如法国和德国），而未受到资助的船队确实增加了（例如挪威）。几乎可以肯定，在解释船队类型的变化上，对技术变化的反应程度至少具有非常重要的意义[2]。

1939 年后的航运业 尽管战争期间损失了大约 3200 万吨吨位，但整个世界船队仍然从 1939 年的 6140 万吨增加到了 1946 年的 7290 万吨。除了美国以外，战前的主要航运国家均出现了绝对的和相对的衰落。美国在世界船队中所占的比例从 1939 年的 14.2%，令人吃惊地增加到 1946 年的 56%，虽然所占比例在随后两年中下降了 20%，之后仍继续下滑。在第二次世界大战后的整整十年内，扩充的美国船队经历了一段极为繁荣的时期，海运干货贸易额增加了 65%，油轮贸易额增加了一倍多。

696

有两个发展特征制约了各国在战后世界航运业中的地位。第一个特征是船旗歧视的发展。许多国家采用各种手段来保护国内航运业，例如包括约束性航运条款的双边贸易协定，为国内航运业保留一部分进出口货物的立法，通过外汇管理为国内船只争取优惠权，以及其他财政措施。虽然这些手段只把较小一部分世界贸易从自由竞争中排除出去，但对于那些靠第三方贸易生存的船队，例如挪威和英国这种传统的无差别待遇的航运国家，显然有十分巨大的影响。

战后航运市场的第二个特征是“方便旗”（flags of convenience）的发展。一些国家，最著名的有巴拿马、利比里亚和洪都拉斯等国，通过提供优惠的税收和对船员雇佣、航行较少限制的条件，吸引外籍轮船前来登记。或许，正是这些做法引发了许多的变化。免税的高额利润可能导致很高的再投资率及装载量更迅速的扩大，除此别无其他缘由。从潜在的因素来看，在差别待遇存在的情况下，只有很少“国内”贸易的大型船队可能会集中争夺无差别待遇的国家的市场。在这种或任何其他原因所产生的集中竞争中，在“方便旗”下航行的船队更容易达到人员配备和技术更替的标准。

1939年以后的世界航运业的突出标志是石油运输的增长，在1939—1960年间增加了4倍[3]。油轮船队的相应扩大适应了石油运输的增加（表29.1），所用油轮大小的变化比总吨位数的增加更为惊人。1939年，一艘典型的油轮总载重量为1.2万吨，而到1949年已增加到1.6万吨左右。在以后的10年中，油轮迅速变大。在1960年，载重量为4.5万吨的油轮十分普遍，10万吨的油轮业已投入使用。这类油轮所需要的纯运输费，仅仅是1.6万吨油轮的1/3多一点。

表29.1　1900—1960年世界油轮船队的增长

年代	世界吨位数（总载重量单位为百万吨）
1900	0.5
1919	3.7
1939	16.6
1960	64.0

资料来源：石油研究所。

因此，20世纪前半叶航运业的发展情况是：内燃机动力代替了蒸汽动力，航行速度增加而成本降低；随着组织方式和合同安排的变化，船只的吨位普遍增大；石油海上运输大幅发展并在航运市场独占鳌头，因而引起货船吨位及船队国籍的惊人变化[4]。

29.2　航空运输

与海上货运业的增长相比，航空客运业的增长更为惊人。航空运输的优势一直是远距离客运，或是陆路运输无法到达的地方。在欧洲，空运在200英里以内从来不是陆路运输的竞争对手。不过在美国，1960年大约有25%的国内旅客在不到200英里的行程内依靠空运。但在更长的国际航线上，空运迅速取得了优势。到1960年，进

出英国的其他国家的旅客 50% 依靠空运，75% 横渡大西洋的旅客也依靠空运。

相比之下，航空运输是一种高成本的运输方式，只适合重量小、价值高、需要快速运输的货物。因此，虽然空运量在 20 世纪 50 年代增加了 300% 左右，但在 1960 年的全部货运中，空运量仍然只占很小的比例。例如，从 1951 年到 1952 年，货运费和邮运费之和占英国欧洲航空公司全年收入的 20%。这两项收入的增长比起旅客运输来是如此缓慢，以至于到了 20 世纪 60 年代早期，它们仅占全年总收入的 10% 多一点。此外，虽然 20 世纪 50 年代已经开办了某些特殊货物的空运业务，但到了 1960 年，欧洲 2/3 以上的空中货物运输仍然只是客运舱位的“填补”。

698

飞机的发展（第 33 章）可以从载重量、速度、航程和利用率四个方面来加以说明。从某种程度上说，前三者是相互独立的。例如，1935 年的齐柏林（Zeppelin）LZ 129 型飞艇可以装载 50 名乘客和 10 吨货物，航程达到 8000 英里，但每小时仅飞行 80 英里。而仅可载客 21 位，航程 800 英里的道格拉斯（Douglas）DC3 型飞机，飞行速度却快了一倍。对任何一种型号的飞机来说，潜在的利用率与航程、大修的时间及可靠性有关。实际的利用率也取决于能够飞行的条件和需求水平。因此，第一代飞机的年利用率一般每年为 1000 飞行小时或更少一些。到了 1960 年，飞机年平均利用率为 3000 飞行小时左右[5]。

概括上述所有要素的一个统计数字是飞机的工作量，这是指它在一年内能够运送的旅客英里数或吨位英里数。如表 29.2 所示，从第一次世界大战后用来进行定期服务的最早飞机——例如德·哈维兰（De Havilland）34 型飞机，到 1960 年技术最先进的飞机——例如波音（Boeing）707-320 型飞机，单架飞机的生产率提高了 400 倍以上。

表 29.2 1922—1959 年飞机的发展

飞机	年代	座位数	巡航速度（英里 / 时）	续航范围（英里）	利用率（时 / 年）	工作量（乘客英里 / 年）
德·哈维兰 34	1922	8	105	250	1000	0.89
道格拉斯 DC3	1935	21	160	800	2000	6.72
道格拉斯 DC4	1946	44（+ 货运）	239	1760	2500	26.29
波音 707-320	1959	189	544	4625	3500	359.8
倍数（1959/1922）	—	23.6	5.1	17.5	3.5	428.4

资料来源：西利（K. R. Sealy）[5]。

按现行价格计算，尽管波音 707 飞机的成本是 DH34 型飞机的 2000 倍，但在 1922—1960 年间，现代飞机的高性能和较少的劳动力及较少的单位输出能耗，导致了每乘客英里实际成本的下降，同时速度、舒适性、可靠性和安全性也明显增加。

699

这一潜力的开发是一件冒险的事业。虽然莱特兄弟（Wright brothers）在 1903 年证实了以发动机为动力的飞行的可行性，但到了 1914 年，国内航运作为一种运输方式仍然进展甚微。1909 年，布莱里奥（Blériot）首次乘飞机横渡英吉利海峡激起人们的某些兴趣，但飞机基本上仍停留在迷人的新奇事物阶段。

在第一次世界大战期间，对航空的潜在军事价值的认识使情况发生了彻底变化。例如，英国在 1917 年建立了航空部（在建立单独的交通部之前的两年），到第一次世界大战末期已经大量生产飞机。在两次世界大战期间，虽然技术在持续进步，商业性飞行却只有依靠政府的实质性支持才能进行。在英国，人们认识到商业航空发展的唯一途径是由政府挑选支持组成一家航空公司，最后促成了一家国有化的空运公司——英国海外航空公司（B.O.A.C.）的成立，并在国际空运方面成为代表机构。对于国内市场，政府则通过特许程序的办法严格控

制较小的私营公司。事实上，这也是西欧几个主要强国共同的模式。

第二次世界大战促进了空运技术的加速进步，其中包括喷气式发动机的发明，这为营利性商业飞行开辟了前途。这种进步也提供了经过航空训练的飞行人员，保证了数量充足的愿意进入这一行业的创业者。国际空运即将“起飞”，只是仍然先要解决国际关系中一些难以对付的问题。

在1919年的《巴黎公约》中，国家领空主权的观念被奉为神圣而不可侵犯，成为两次世界大战期间国际民用航空发展的基础。第二次世界大战后，随着民用航空更迅速、更广泛的发展，52个国家的代表1944年在芝加哥集会，讨论战后国际空运管制政策。芝加哥会议建立起国际民用航空组织（I.C.A.O.），以进一步推动国际航空合作，并达成航空标准化的许多协议。

不过，在自由发展国际商业性服务的重大问题上，芝加哥会议未能达成任何协议。英国不让美国独占世界空运市场的决心，挫败了美国关于把政府的控制减少到最低限度的要求。英国主张政府详细地调节空运的各个方面，包括航线的确定、机种的选择、载重量的控制和运费率及机票价格的确定。由于不能达成共同的国际协议，英国坚持通过双边协定继续实行严格控制的主张奏效了。

700

因此，英国和美国之间第一个双边协议的条款，成为第二次世界大战后空运市场发展特别重要的模式。1946年，两国政府代表在百慕大会谈并达成一项协议，这项百慕大协议成为圆满调解国家之间利益冲突的基础。

百慕大协议的原则是明确的。两国就航线安排谈判达成了协议，但在直接连接两国的航线上，并没有限制运载量和飞行次数，如果由此引起超额运载，就将成为事后需要检讨的问题。人们也认识到，长途运输服务的经济运行要求有权经营中间区段运输业务，只要所提供的运载量明显地与航线全程的潜力有关，而不是牵涉到中间区段的运

输业开发，那么这种要求应当被允许。最后，大家一致同意，票价和运费率首先通过国际航空运输协会（I.A.T.A.）由航空公司自己决定，但也应呈请政府批准。

第二年，国际民用航空组织在日内瓦举行会议，希望百慕大协议能成为关于航空运输权利多边协议的基础。但是，一些国家担心在百慕大协议中缺少运载量或飞行次数的控制，希望自己的航空公司保留预定份额的权利。

这一成果对航空运输业结构所具有的特殊重要意义表现在两个方面。首先，保留预定运载量份额的权利，为许多新兴国家（和其他国家）培育和保护自己国家的航空公司奠定了基础。按照严格的经济术语来说，这可能意味着市场上已经有了太多的小型航空公司。其次，控制运费率对预定份额的措施有补充作用，它防止高效率的航空公司在损害低效率公司的情况下扩大市场份额。在缺少价格竞争的情况下，航空公司不得不寻找其他的促销办法，出现了更大的座位空间、更好的饮食、免费的饮料和电影放映，不过这些都在国际航空运输协会的协议中受到严格控制。但是，协议并不能限制飞机本身，由于人们似乎总是格外喜爱乘坐最快、最现代化的飞机，这就导致了服务质量竞争性的提高，即使就全局而言，它对这样做的航空公司并无好处。因此，运费率的控制、运载量的配额以及一些国家为了声望的缘故愿意补贴本国航空公司，这一切给航空运输方面的技术革新速度带来了持久的压力，这一压力反过来又促进了需求量的增长。

作为运输机的喷气式飞机的发展，对这种需求量的增长起到了最大的促进作用。英国曾经作出决定，战后应设计出使用涡轮发动机的民用飞机，这种发动机在军事领域已经显示出广阔的前景。1953年，英国欧洲航空公司采用了“子爵号”（Viscount）飞机，它用涡轮发动机来驱动螺旋桨。早在1952年5月，英国海外航空公司已经引进了第一架纯喷气式飞机“彗星I号”（Comet I），用于长途运输业务。

喷气式革命开始了。到1960年，国际航空运输业的运输量已增加到1948年的4倍以上（表29.3）。

表29.3　世界民用航空统计数字

（不包括中国、苏联和其他非国际民用航空组织成员国）

	1948年	1960年
飞行距离（百万千米）	1270	3000
乘客运输量（百万千米）	21000	109000
货物运输量（吨 × 百万千米）	420	2180
邮件运输量（吨 × 百万千米）	170	610

资料来源：《联合国统计年鉴》。

喷气式飞机具有速度快、舒适和长途运输经济实惠的优点，刺激着传统的商业市场。它释放了在它出现之前的大部分运载量，并最终扩大了喷气式飞机自身的服务范围，促进了全新的休闲市场的发展。在1950—1960年间，“一揽子旅游”的发展导致了英国和美国国外旅游费用的迅速增长，比全部消费开支的增长高出一倍。到1960年，英国每年有50万人参加旅游班机和独立航空公司（非国有化公司）提供的这种旅游服务。显然，航空运输业进入了进一步飞速增长的阶段。

29.3　陆路运输

世界内陆运输市场　20世纪初，世界内陆运输市场可分为两类。那些发达的西方经济市场大多受铁路支配，只有一定数量的航运交通在运河、内河航道中进行（例如著名的欧洲莱茵河和多瑙河体系以及北美洲的五大湖），当然还有沿海航运（例如英国的煤）。除此之外，长距离的货物运输都通过铁路。同样，由于许多国家公路网的不发达和机动车辆在公路上受到的种种限制，使得铁路系统有效地掌握了旅

客运输的垄断权。与此相反，在非洲、南美洲、中东、远东等发展中国家，铁路仍然处在推广和开发时期。一般来说，铁路运输只是局部地区使用，偶尔在全国使用，但极少用作国际运输的方式。

国家铁路网 19世纪是铁路的时代（第V卷，第15章）。在较发达的国家，铁路网到20世纪初实际上已经完善，到第一次世界大战时更加成熟定型。在两次世界大战之间，西欧铁路里程仅仅增加了5%左右。虽然许多国家的铁路为私人所有，但它们大多受到国家行政十分严格的全面控制。例如，英国的铁路基本上服从商人的利益，但没有铁路和运河委员会的批准，就根本不能改变运费率。

在北美洲，铁路系统在私营企业激烈的竞争氛围中发展起来，这种竞争也导致了20世纪初大量的铁路系统和装备的产生。与此相反，南美洲铁路系统发展较慢，严重依赖外国资本。例如，直到1937年，在阿根廷4万千米的铁路中，英国公司仍然拥有并控制着2.5万千米的铁路线。

至于世界其他地方，铁路线还不成系统，主要是地方性的。20世纪头20年或30年，成为这些国家积极建造国内和国际主要铁路干线的年代。例如，中国在1899—1923年间借款4500万英镑来修筑铁路。同样，在两次世界大战之间，即1921—1938年间，苏联铁路系统的里程净增了60%以上，从3.6万英里增加到了5.5万英里。到1945年，它增加到了6.6万英里。

铁路运输的国际合作 在进入20世纪时，欧洲不仅有发展完善的国内铁路网，还基本上组成了一个国际铁路运输系统。1882年，联合技术协会作为一个促进铁路技术统一的国际组织建立，并在1890年签署铁路运输共同规范的《伯尔尼公约》。第一次世界大战瓦解了这一体系，但1922年创建的国际铁路联盟（U.I.C.）为欧洲国际铁路体系的发展重建了渠道。

并非所有的问题都可以纳入国际协议的范围。虽然欧洲铁路系统

大力推行共同的轨距标准和装载限界，标准化依然不易达到。例如，在许多国家，铁路电气化的政策是根据国内电气政策来确定的。因此，到 1938 年末，三个不同的、相互矛盾的电气化系统已经在欧洲实施（第 45 章）。

在北美洲，技术合作也不得不面临同样的问题。在那里，公司之间的可怕竞争也能产生相互矛盾的体系。最终从 19 世纪晚期起，产生了一系列跨行政部门的组织，以便保证众多技术的一致性。1934 年，各种专门技术组织合并组成了美洲铁路联合会。因此，对加拿大和美国的铁路而言，4 英尺 8.5 英寸宽的标准铁路轨距实际上都是通用的，铁路货车也实行了标准化。在全部装载限界中，尽管并不完全一致，但已经有了大致的统一。例如，在芝加哥以西的铁路线上运行的机车装载限界的自由度，就要比在它以东的铁路线上运行的机车大一些。

至于在世界其他地方，技术标准化显得不太重要，而且更不容易达到。例如，1927 年的非洲，仅有 10% 的铁路是标准轨距，57% 是 3 英尺 6 英寸宽的轨距，22% 是 1 米宽的轨距，另有 11% 甚至是更窄的轨距。在南美洲，没有大家接受的标准轨距。甚至直到 1946 年，个别国家的铁路还未成为国际联运体系的一部分。

704

机械化公路运输的发展 到 19 世纪末，为了适应竞争激烈的运输业，公路和车辆建设方面必需的技术已经取得重大进展（第 V 卷，第 18 章）。然而在 1900 年，这一潜力几乎完全没有开发出来。当时，世界上仅有 1.1 万辆汽车，其中 5000 辆是在法国。

20 世纪的汽车（第 30 章）是 19 世纪几种发明——汽油发动机、离合器、万向节、电动机、气胎等的组合。1891 年，正规的汽油汽车仅在法国的庞阿尔（Panhard）公司开始生产。英国早期汽车制造商如戴姆勒（Daimler）、兰彻斯特（Lanchester）、赖利（Riley）、罗佛（Rover）和凯旋（Triumph）等生产规模都很小。正是美国福特公司采

用了大规模生产汽车的方法，它于1911年在曼彻斯特开办了一家工厂，成功装配了T型汽车，由此把大规模生产汽车的方法引入西欧。然而，直到两次世界大战之间，汽车工业的绝大部分仍然是小型公司，在短期内生产价格比较高的汽车。

汽车市场的发展在美国最为迅速。大规模生产导致了价格的下降，驾驶设备的发展和优质的市场营销（包括分期付款购买方法的发展），使得汽车从富人专有的奢侈品变成了熟练技工阶层的合理期待。到1922年，美国每9人中有一辆汽车。带来这一发展的另外原因，也是由于美国缺乏西欧那种密集的公共运输网。

两次世界大战之间，随着逐步大量利用生产线，车辆的生产规模扩大了，从而降低了实际成本和价格。例如，1920—1929年间，莫利斯·考利（Morris Cowley）型汽车的价格从525英镑下降到199英镑。同时，汽车生产还出现了大规模的集中现象。到1939年，英国90%的汽车产品来自“六大公司”，分别是莫利斯（Morris）、福特（Ford）、奥斯汀（Austin）、沃克斯巴尔（Vauxhall）、鲁茨（Rootes）和斯坦达德（Standard）。但是，英国和欧洲的汽车生产能力仅是美国的1/3。就实际情况而言，英国小轿车的平均成本高出美国同类产品的30%左右。

705

在第二次世界大战期间，小轿车生产几乎完全中断，商业机动车辆的产量则不断上升，达到了创纪录的水平。主要的小轿车制造商利用由此形成的空间和能力，生产范围广泛的战争物资。战后，这种能力又被用于扩大小轿车生产。到1954年，英国一些小型公司实际上被迫停业，“五大公司”（奥斯汀和莫利斯已于1952年合并）和罗佛、美洲豹（Jaguar）等公司占有了英国99%以上的汽车产量。

到1960年，英国每4个家庭拥有一辆汽车。正如美国一样，汽车已经成为西欧个人旅行的主要交通工具（表29.4）。

表 29.4　英国 1904—1960 年使用的车辆

年代	小轿车	摩托车	出租汽车			货车和其他车辆	总数
			公共汽车和长途汽车	总数	出租车		
1904	8465	—		5345		4000	17810
1910	53196	36242		24466		30000	143877
1920	186801	287739		74608		101000	650148
1930	1056214	724319	52648		48483	391997	2273661
1939	2034400	418000		90000		606200	3148600
1945	1486600	309100		98700		658100	2552500
1950	2257873	751738	77636		58845	1263151	4409223
1960	5525828	1861247	78722		14543	1958800	9439140

资料来源：英国公路联合会，《基本公路统计：城镇公共旅客运输》。

到 20 世纪初，公路在城市里旅客的公共运输中占据优势。就大多数地区而言，旅客运输本来一直由马车承担，机动公路车辆的发展受到严格限制。例如，英国的每小时 4 英里的速度限制和残缺不全的许可证限制（最初被用来限制长途蒸汽汽车的活动），直到 1896 年颁布《公路机车条例》后，才对 3 吨以下的车辆有所松动。即使到那时，速度限制仅仅提高到每小时 14 英里。然而，一旦限制开始松动，就会迅速松动下去。到 1905 年，速度限制和自由采用的最大重量均被提高，促使马拉车辆迅速被机动车辆所代替。例如，到 1911 年 10 月，伦敦公共马车总公司已完成了用一队公共汽车代替 1.78 万匹马的工作。

在城市里，另一种对铁路有强大竞争力的交通工具是电车。由于 1870 年《电车条例》对私营的限制，英国的电车大多由市政当局经营。受到无轨电车和公共汽车技术上的威胁之前，并没有建造多少有轨电车线路，不过在 20 世纪前 30 年，有轨电车在许多城镇的市区公共交通中仍占据着优势地位。

公路与铁路的竞争 第一次世界大战并没有引起运输领域技术的革命性发展，却加速了某些趋势的出现，并使某些问题更加严重。大战使得公路车队和熟练驾驶人员大量增长，这些车队和驾驶人员在战后都退役转入民用部门。与车队的增加相反，战争使得本来就有限的公路发展项目进一步减少，公路的容量赶不上需求的增长。但是，在内陆运输市场，公路对铁路优势地位的威胁已经出现。

在西欧，铁路在这场竞争中相对弱势，不仅承受了战争的极大冲击（在某些国家，如在英国，铁路得到的补偿与它的贡献极不相称），进行商业竞争的能力也被严格约束。由于昔日的垄断地位，铁路被要求（在许多情况下是法律规定的）承担非营利性社会服务的义务，而且在自由确定商业运费率方面受到限制。

第一次世界大战以后，对于公路货运和客运业的开业登记和运营规则缺乏有效控制。这样一来，到20世纪20年代，公路运输严重地侵入了传统的铁路运输业。在战争中已经受到严重损害的铁路财政活力，变得进一步恶化。

公路运输自由发展的另一个重大后果是内部竞争加剧。低工资水平、低利润投资以及战争中大量运输能力和人力的退役，共同造成了公路运输业本身的激烈竞争状态。由于车辆得不到适当的维修和危险驾驶的存在，人们对公路运输安全性的怀疑甚至到了无法接受的程度。

20世纪30年代中期，公路运输的过度竞争，加上公路、铁路之间没有适当的合作，导致了大多数发达国家对公路运输，特别是公路货运业进行干涉；通常包括控制经营公路货运业从业资格、运营地区、运载商品种类和运费率等方式。1933年、1934年和1936年，这些限制分别在英国、法国和德国实行。1935年，美国还制定了《机动车运输业务条例》，要求从事公路运输的“公共事业公司”领取许可证和公布运费率，并授权州际商业委员会调节最低关税，以防止公路与

铁路之间的过度竞争。因此，不论是国有铁路（例如法国）还是非国有铁路，不论铁路部门自身本来就存在竞争（例如美国）还是没有竞争，也不论铁路在多大程度上被有意识地用作发展国民经济和军事战略的手段（例如德国），这种国家干预模式都是适用的。各国情况千差万别，但都面临着在公路竞争加强的情况下如何保护铁路运输业的问题。

然而，形势并不是能被轻易扭转的。在英国，铁路商品运输继续减少，从 1919 年的 6840 万吨下降到 1938 年的 4430 万吨，4 家主要私营铁路企业濒临破产。在法国，国营铁路公司 1938 年的赤字总额达到 600 万法郎。在美国，到 1937 年年末，30% 以上的铁路线陷入委托管理或破产管理的境地。即便如此，在每一个这样的国家中，都存在着一种坚定不移的看法，那就是铁路在国家运输系统中有着独特的作用，现行制度结构的性质正以某种方式暗中破坏着这种作用。因此，到 20 世纪 30 年代末，这些国家都在拟定一套新的政策措施，以使各种运输方式能够更好地“合作”。

英国采取了“公平交易”运动的形式，目的在于把铁路从许多限定的传统义务中解放出来。法国建立了国家和地区性行政机构（运输高级委员会），试图通过政府作用有意识地执行一种运输合作的政策。美国响应 1939 年州际商业委员会报告的号召，由联邦政府建立一个运输管理局，在运输业结构中发挥更加积极的作用。

708

1945 年以后的内陆运输 第二次世界大战中断了上述种种努力，但战争产生了铁路运输重新获得优势的条件，重大的人力和物资流动主要由铁路来承担。然而，战争并没有消除铁路落败的潜在趋势，这些趋势在战后的重建过程中一定会重新表现出来。其中，德国在 20 世纪 30 年代后期特意建造的战略公路系统的发展，加上车辆规格和功率的增加，已经显示出公路运输即使在远距离的货物运输市场上也具有竞争的潜力。

发达国家战后面临的是，问题允许发展中的公路运输技术发挥适当作用，又能保住铁路运输的市场优势。在寻求这种平衡时，必然面临的严重困难是铁路存在着自然贬值的状态。例如，在1937—1953年间，英国铁路全都以1948年的价格为准，据估算亏损达4.4亿英镑。在战后的早期阶段，尽管政府最初的意图是好的，但由于物资的短缺和公共部门投资的削减，根本不能弥补积累下来的维修和建设的亏空，引进新技术和增强维修能力遭遇阻碍。

事实上，一些主要的技术革新已经被广泛采用。第一次世界大战后，煤的价格大涨，铁路运营者不得不寻求新的牵引方式，在主干线上尤其如此。在美国，石油比较便宜，解决问题的方法是用柴油机作牵引动力。到1946年，美国1/4的旅客列车依靠柴油机牵引，蒸汽机车已经停止生产。在欧洲，电力牵引被证明更有吸引力。到1937年，欧洲大陆的电气化铁路达到1.6万多千米（包括瑞典的3000千米）。在英国，到1939年，虽然30%以上的南方铁路已经电气化，但直到20世纪50年代末，动力革新方面的进一步成果仍然微乎其微。

当时，铁路技术已经取得或已采用许多其他重要成果。到20世纪60年代早期，联邦德国60%的铁路线使用了焊接的长轨，使得乘客更觉得舒适。在经济和安全方面，动力信号和控制技术都有了显著的进步。

709

尽管铁路技术取得了这些成果，并采用了旨在获得运输部门"良好合作"的立法措施（例如英国在1948年宣布全部长途公共运输系统国有化），公路运输的发展却并没有停滞。例如，英国1960年的公路运输占国内货物运输总量的50%，占内陆运输的62.5%（不包括沿海货运和空运）。就客运而言，公路运输更具优势，将近85%的客运依靠公路进行，其中私人小轿车占55%以上。此外，车辆的迅速发展在战后阶段成为世界范围的现象，第三世界的增长速度（尽管

基数起点很低）比美国的还要高。然而，到 1960 年，非社会主义国家的大多数机动车辆仍然集中在美国和西欧（表 29.5）。

表 29.5　世界车队（不包括当时的社会主义国家）

	轿车（千辆）		商用汽车（千辆）	
	1948 年	1960 年	1948 年	1960 年
非　洲	640	1850	290	740
北美洲	35160	66560	8450	13100
南美洲	650	1650	530	1170
亚　洲	380	1710	500	2240
欧　洲	5130	22690	2750	5760
大洋洲	910	2470	510	950
总　计	42870	96930	13030	23960

资料来源：《联合国统计年鉴》。

到 20 世纪 50 年代末，这种膨胀还远未衰竭，汽车拥有者仍在迅速增长，许多国家不断增加的公路投资项目助推了这种趋势。在以后 10 年中，这种增长还在继续和加速。

在发达的工业化国家，公路运输的发展具有十分重要的经济影响和社会影响。汽车运输的出现，使得工业可以更加广泛地分散布局，特别是轻工业能够在远离仅靠铁路的老工业集中区重建或扩建工厂。

710

与此同时，社会习惯同样受到了影响。汽车开辟了大范围娱乐和休闲的可能性，例如伦敦人 1930 年的旅行次数是 1906 年的 3 倍。人们居住地的范围更是有了改变。最初，在传统的主要大都市区域之外，郊区铁路公用事业的改进也带来了新的发展。在较小的城市住宅区，汽车能使那些有时间和金钱的人在城里上班，在乡村居住。因此，城市中心区域人口减少，郊区的范围和人口都有所扩大。20 世纪运输

业的发展，至少部分地创造了一种全新的生活方式。

在人类历史变化最迅速的半个世纪中，国内、国际运输领域技术的变革已经处于经济和社会发展过程的核心地位。

29.3　陆路运输

相关文献

[1] Sturmey, S. G.*British shipping and world competition.* Athlone Press, London. 1962.

[2] Report of the Committee of Inquiry into shipping. *The Rochdale Report.* Command 4337, H.M.S.O., London. 1970.

[3] Coupar, A. D.*The geography of sea transport.* Hutchinson, London. 1972.

[4] Beaver, S. H. Ships and shipping : the geographical consequences of technological progress. *Geography*, *52*, 133–156, 1967.

[5] Sealy, K. R.*The geography of air transport.* Hutchinson, London. 1966.

参考书目

Aldcroft, D. H.*British transport since 1914.* David and Charles, London. 1975.

Barker, T. C., and Savage, C. I.*An economic history of transport in Britain* (3rd edn.) . Hutchinson, London. 1974.

Coupar, A. D.*The geography of sea transport.* Hutchinson, London. 1972.

Sealy, K. R.*The geography of air transport.* Hutchinson, London. 1966.

Sturmey, S. G.*British shipping and world competition.* Athlone Press, London. 1962.

第 30 章 道路车辆

博略的蒙塔古勋爵
（LORD MONTAGU OF BEAULIEU）

1900 年，机动车辆还处于相当初级的发展阶段，在社会和经济生活中的作用微不足道（第Ⅴ卷，第 18 章）。当时，货物运输主要靠铁路，本地送货则用马车，很少有人有私人汽车，车主往往是人们怀疑和讥笑的对象。有三个因素特别妨碍使用汽车，一是反机动车法令，尤其是有关限制行驶速度的法令；二是大部分乡间道路很破旧；三是汽车本身质量不可靠。其中，汽车质量最早得到改进。20 世纪头 10 年里，每辆汽车的平均行程超过了 30 英里，已经从一种肯定会发生故障的冒险行为变成一种合理而可靠的日常事情。

30.1 客车

20 世纪头 5 年里，汽车设计比以后任何时期都丰富多样，因为制造厂家当时没有定型的设计思想可以依据，形形色色的设计方案似乎都有同等的吸引力。所以，发动机的安装有卧式的也有立式的，有的装在车架前面，有的装在后面，有的装在中间。车架可以是木质的，用纯木或金属条包边的木板制作，也可以用槽钢或钢管制成。可调小齿轮变速箱变得规范化了，但许多汽车使用行星齿轮系统，特别是在美国。最后一级驱动力可以由中间轴和后轴之间的链条传输，在轻便汽车上用一根链条，在重型汽车或商用车辆上用两根，或由皮带

来传输，或由传动轴和后轴上的伞齿轮来传输，后者逐渐变成通用的系统。到1910年，只有很少的老式汽车仍在使用链条传动，皮带则只限于摩托车和小型机动车。链条的缺点是存在噪声，还需要经常维修，包括浸在俄罗斯油脂里保养。皮带容易滑出来，也容易损坏，而且不适于传输超过限定的动力。早期机动车司机遇到的主要问题，并不是机械性故障，更多的是气胎引起的意外停车。这种气胎1888年首先用于自行车，1895年用于汽车。尽管常被扎穿而泄气，汽车驾驶者仍然宁可用这种车胎而不用硬橡胶车胎，因为硬橡胶车胎在超过10英里/时的任何速度下行驶就会产生颠簸。直到20世纪20年代中期，硬车胎仍然只用于重型货车和公共汽车。蒸汽牵引机则发展得更慢，用的是铁箍轮。直到1910年前后，可以拆卸的车轮才被普遍使用，更换轮胎时要把轮胎从固定的车轮上拆下来，取而代之的是斯特伯尼（Stepney）轮，它是一个备用的轮胎。如果原来的轮胎被扎破，就可以换上它，这样汽车至少可以开到最近的汽车修理厂。

712

早期的小汽车大多是敞篷的双座车，因为轴距短，很难容纳更多的乘客。到1900年，一种受人们欢迎的解决办法是在车的后面开门，后面的乘客坐在后车门两边的加座上。这种车的车身偶尔也有带篷的，但大多数还是敞篷的。到了1904年，出现了一种更加昂贵、功率更大的汽车，例如戴姆勒（Daimler）、庞阿尔（Panhard）和梅塞德斯（Mercedes）。这些汽车都有几个门，它们的轴距足够长，可以满足从侧门进到后座所需要的长度。然而在此后的6年里，司机和前面的乘客普遍没有自己的门。当时，带篷的汽车仍然很少见到，直到20世纪20年代后期在数量上仍然没有超过敞篷汽车。有两种带篷汽车曾经获得公众的喜爱，一种是有两个座位的小轿车，常被称为医生车，因为一年四季都得外出的医务人员很喜欢它；另一种是大型高级轿车，它用玻璃把司机和乘客分开。有的汽车带有两个车身，一个是敞篷的夏季旅行车，另一个是冬季用高级轿车，不用的车身可以悬吊

在车库的屋顶上。

起初，机动车对社会的影响很小，它所引起的公众注意与它的实际存在相比很不相称。到了 1900 年，在工业化世界里，几乎人人通过报纸的传播都知道有一种“无马客车”，但在乡间几乎没有人见到过它，更没有什么人拥有一辆汽车，或用它来谋生。所谓汽车工业不过是由几家公司组成的，每年最大产量大约为 1000 辆，其中有的公司来自自行车工业，由一批白铁工装配出几辆汽车，有时只装配出一台样车。他们自称为“机动车制造者”，但这只是他们的希望，而不是事实。由于汽缸的铸造往往超出多数小型企业的设备能力，一些公司制造发动机出售给其他制造厂，这就大大促进了汽车工业的发展。714 最重要的发动机制造者是布顿（de Dion Bouton）和阿斯特尔（Aster），他们合伙给欧洲和美国 200 多家公司提供发动机。

1900 年，小客车的世界产量大约是 9000 辆，其中 4192 辆是美国生产的。在美国，蒸汽机汽车和电力机汽车比汽油机汽车出售得多。首次大规模制造汽油机汽车的是奥尔兹（Ransom E. Olds），他在 1901 年推出奥尔兹机动弯曲挡泥板小汽车（Oldsmobile Curved Dash Runabout）（图 30.1）。它是一种简单、坚固的汽车，带有一个卧式单缸、7 马力发动机和两个座位的车身。在奥尔兹机动车生产的第一年，尽管工厂还发生过一场灾难性火灾，仍然出售了 425 辆，1902 年上升到 2500 辆，1903 年为 4000 辆，1904 年为 5508 辆，1905 年为 6500 辆。1903—1904 年，美国机动车生产量增长了 100%，这主要归功于奥尔兹。值得注意的是，此后仅在 1908—1909 年又出现了类似的跃进，这是在福特 T 型车（Ford Model T）问世之后（图 30.2）。

事实上，福特在 1906 年产量就跃居首位，T 型汽车第一年就生产了 17 771 辆，问世的头 5 年则生产了 10 倍于这一数字的汽车。这种情况之所以成为可能，是因为采用了传送带流水作业系统，待组装的部件定时传送给工人。这并非福特的创举，因为它在康涅狄 715

格（Connecticut）钟表工业已经使用多年。据说，亨利·福特（Henry Ford）是从观察芝加哥肉类包装空中吊车得到启示的。批量生产带来了戏剧性的后果，因为销售量的剧增降低了单位成本。1909—1916年，福特车几乎每年都大降价，从850美元减到了360美元，而获利仍然可以保障福特工厂增加工资。1914年，别的工厂平均工资每天才2.5美元，福特工厂却达到每天5美元，同时把每天工作时间从10小时减到了8小时。想找工作的工人们从美国各地来到底特律，吸引他们的不仅是钱，还因为福特专门帮助安置外来的移民，并且愿意雇用那些被认为在一般企业无法就业的残疾人。

福特虽然是20世纪20年代美国最大的机动车批量生产者，但并不是唯一的。1916年，继福特汽车产量达到73.5万辆后，威利斯-奥弗兰（Willys-Overland）的汽车产量达到了14万辆，别克（Buick）的产量为124 834辆，道奇（Dodge）的产量是7.14万辆。再加上其他大约95家汽车制造公司，使全国的总产量超过了150万辆。这时，有近330万辆汽车在美国公路上行驶，10年前则只有10.5万辆。汽车不仅是伟大的解放者，使城市人民能够访问乡村，使乡村的农场不那么孤立，而且它和石油、橡胶、玻璃等辅助工业一起，成为重要的劳动力雇佣者。

到第一次世界大战爆发时，客车的设计已经达到相当标准的规格，这种规格保留了许多年。发动机几乎都装在前面，通过一个3—4挡可调小齿轮变速箱和传动轴带动后动轴来驱动。一些受人欢迎的小汽车——例如亨伯雷特（Humberette）汽车装有双缸发动机，但一般是4缸，更大些的汽车是6缸。1910年以来，布顿制造了少量的V-8型发动机，但卡迪拉克（Cadillac）把V-8制成了一种公众喜爱的发动机。从1914年开始，每年生产数量1.5万—2万台。虽然某些四轮刹车系统从1910年已经使用，但通常刹车还是装在传动装置上（手刹）和后轮上（脚刹），要求人们同时操纵手刹和脚刹，这不太令人满意。1919



图 30.1 奥尔兹机动弯曲挡泥板小汽车，1902 年。

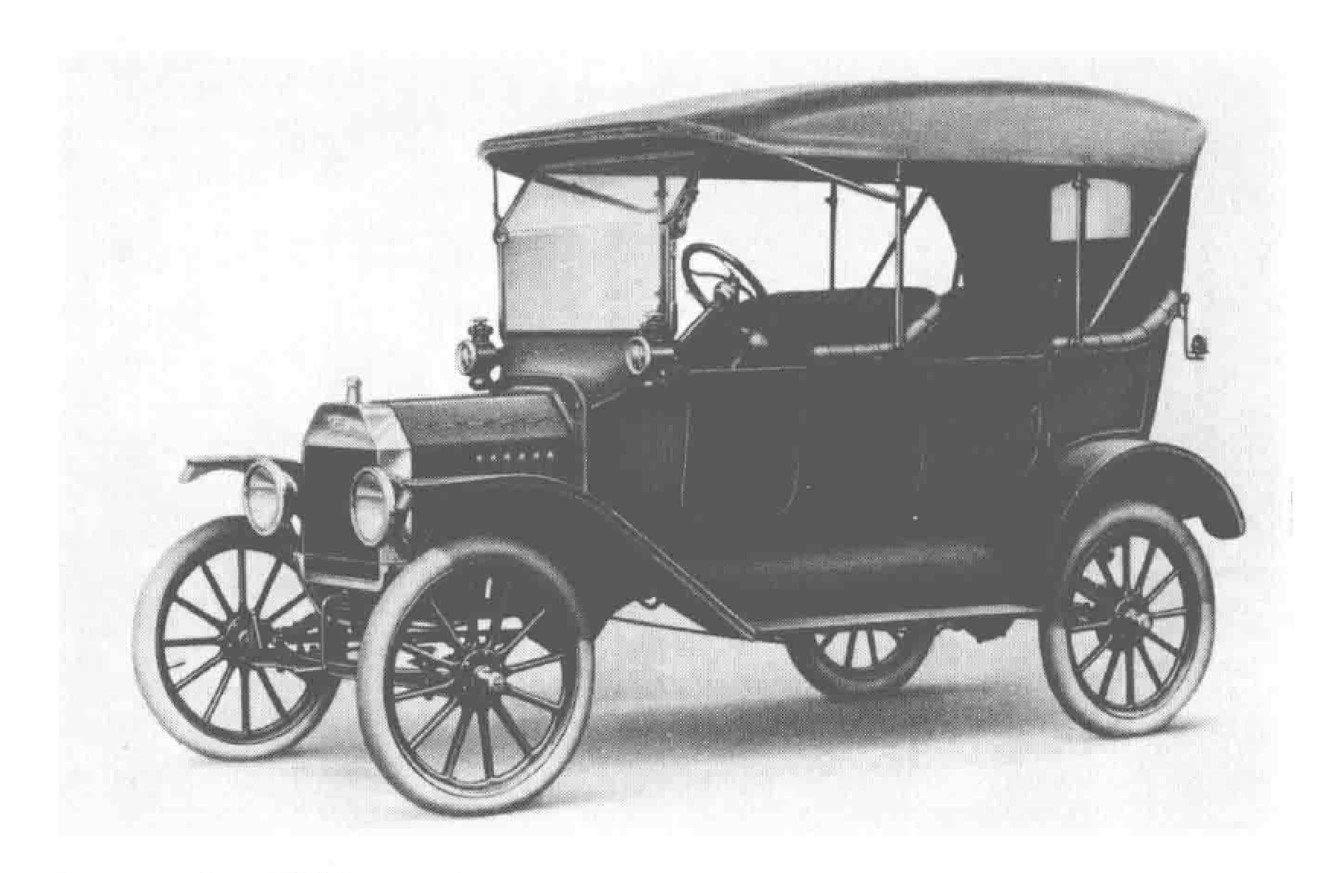


图 30.2 福特 T 型游览车，1914 年。

年，法国伊斯帕诺 - 苏伊萨（Hispano-Suiza）公司发明了一种耦合系统，用脚刹同时刹住 4 个轮子，而且由传动箱驱动的机械伺服装置来协助操作。一种更广泛使用的辅助系统是液压伺服器，其中用一个充满液体的主缸来增强刹车效果。1921 年，这种液压伺服器用在美国迪森贝格（Duesenberg）汽车上，而且在 20 世纪 20 年代普遍应用于一些更昂贵的汽车上。同时，机械四轮刹车在汽车工业中也得以普及。从 1928 年起，就很少有汽车只用后轮刹车了。有一段时间，人们对四轮刹车很怀疑，认为这种刹车会引起车轮打滑。制造商们对这种系统大加指责，迟迟不肯采用。但他们反对的主要原因是成本，因为如果四轮刹车的使用能令人满意，汽车底盘就必须改造。液压伺服的一个变形是真空伺服，它被用在某些豪华汽车上，例如派克（Packard）、皮尔斯 - 阿罗（Pierce-Arrow）和斯塔茨（Stutz）等就是如此。

716

20 世纪 20 年代发动机的一项重大发展是直排 8 缸（straight-

eight），在美国有时被称为直列8缸（eight-in-line）。它首先用于意大利伊索塔－弗拉希尼·蒂波8型（Isotta-Fraschini Tipo 8）汽车，同时也用于伊斯帕诺－苏伊萨（Hispano-Suiza）汽车和劳斯莱斯（Rolls-Royce）公司的劳斯莱斯银魅（Silver Ghost）汽车上，它们都是20世纪20年代的欧洲大型豪华轿车。直排8缸发动机是直排6缸发动机发展的必然结果，但这种发动机还需要一种强度格外高的曲轴，这就是它姗姗来迟的原因。继伊索塔汽车之后，美国的迪森贝格和派克汽车公司、英国的莱兰（Leyland）公司和法国的巴加蒂（Bugatti）公司的直排8缸式汽车出现了。所有这些汽车都很昂贵，短短几年内，拥有大陆（Continental）发动机和莱康明（Lycoming）发动机专利权的制造商向市场推出了直排8缸发动机，这就使汽车装配厂商能够加入到装配直排8缸汽车的行列。1931年，美国市场的各种汽车样品中60%都采用直排8缸发动机。不过，大批售出的汽车中，60%仍旧用4缸或6缸发动机，例如雪佛莱（Chevrolet）、福特和顺风牌（Plymouth）汽车。

1922年前后，原来非常受人欢迎的V-8型发动机汽车不再流行。1929年时，只有5家美国公司提供这种汽车。然而，福特在1932年推出了廉价的V-8型汽车，以惊人的性能和460美元一辆的低廉价格，大大恢复了福特老式T型汽车及其平凡的后继者A型汽车在（V-8型发动机的）最后几年中失去的声望。从此，多缸发动机迅速发展起来。1915—1923年前后，V-12型曾经一度时兴，派克汽车公司成为当时众所周知的制造V-12型发动机的典范。到了20世纪30年代，当大西洋两岸12家制造厂转向一种复杂却像涡轮机那样平稳的动力装置时，这种V-12型汽车又开始复苏。更奇异的是V-16型汽车，只有卡迪拉克和马莫（Marmon）公司制造了一些。

20世纪20年代最有趣的汽车之一是1923年投入生产的意大利蓝旗亚伦巴达轿车（Lancia Lambda）。它的发动机是窄角V-4型，汽缸角度为13°，而卡迪拉克的V-8型汽缸角度为90°。V-4型可以

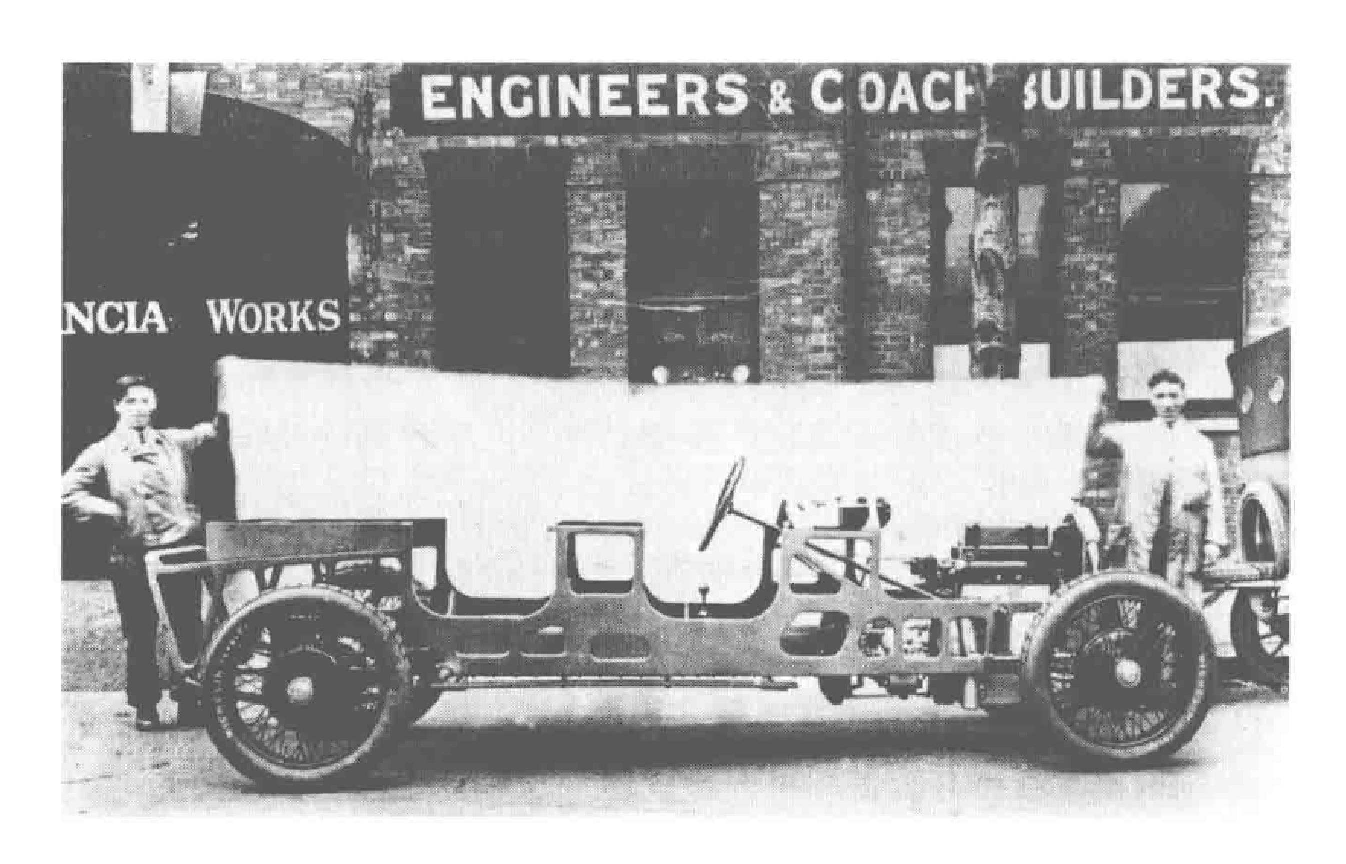


图 30.3 蓝旗亚·兰布达汽车底盘，1922 年。

717 整体铸造，不像传统 V 型发动机中的汽缸那样要分成两排铸造。然而，比发动机更重要的是兰布达汽车的结构。它取消了压制钢底盘上安装金属或木质车体的传统结构，代之以模压的空腹钢材单壳体车身（图 30.3），从而把汽车底盘和车身的下半部连接起来，座位下部起到了构架的横向构件作用。兰布达汽车的车架重 2352 磅，比其他大小相仿的汽车底盘要轻，在 1923—1931 年间制造，分离式底盘车架和标准化车架则分别产生于 1927 年和 1929 年。这显然能够满足旅游车制造专家的需求，因为他们需要通用的汽车底盘来建造各种旅游车。兰布达汽车的车身比同期其他类型汽车要低，行驶平稳，这使它在英国被看作一种运动汽车，在欧洲大陆被誉为质量好、速度快的旅游车。

1931 年，实现汽车底盘和车身组合的下一个重要步骤开始了。当时，费城巴德（Budd）公司的米勒（William Muller）和莱德温卡（Joseph Ledwinka）建造了一辆轿车样品，它是全钢外壳，门柱、车顶

718 和底架全都是复杂的焊接结构。他们向美国大型制造厂提供 V-8 型发

动机和前轮驱动的设计，但没有得到这些很保守的制造厂采用。把这种设计用于生产的是法国的雪铁龙（Citroen）公司。安德烈·雪铁龙（André Citroen）使用了巴德模压钢车体，在1934年首先推出“牵引先驱”（traction avant），这是一种采用整体结构、独立扭杆悬置和前轮驱动的四门轿车。其他制造厂纷纷以巴德/雪铁龙为榜样，奥派尔（Opel）公司（通用汽车公司的德国分公司）在1935年的奥林匹亚汽车上使用了整体结构，通用汽车公司沃克斯赫尔（Vauxhall）分公司在1938年也使用了。另外一些公司也以这样或那样的形式采用了这个原理，它们是林肯（Lincoln）（1936年）、蓝旗亚（1937年）、雷诺（Renault）（1938年）和纳什（Nash）（1941年）。整体结构的材料成本比传统的底盘和车身要低，但加工成本较高，特别适合于大规模生产，只有这样才是划算的，而且传统的汽车车身制造和装配工作也有可能被取消，这就是它通常在较便宜的、非专业化的汽车上应用的原因。1966年，它甚至用在了劳斯莱斯公司的劳斯莱斯银影轿车上。

在两次大战之间，悬挂装置是汽车的另一个领域，其中一些历史悠久的装置已经让位于新设计的装置。新的悬挂装置是四片钢板弹簧，每个轮子一片，在前轮是半椭圆形的，在后轮则是半椭圆形、1/4椭圆形或3/4椭圆形的。包括福特的T型汽车在内，有些汽车在前轮有一片横向半椭圆形钢板弹簧。虽然汽车轮子可以弹跳，但由于和车轴相连，所以当一个轮子下面的路面不平引起偏斜时，就会影响整个车身。为了避免这一问题，独立悬置的原理发展起来。虽然这种独立悬置在1873年就在一种蒸汽客车上出现，但直到20世纪30年代，它才普遍用在汽车上。开始时使用了两种系统，分别是由卷簧支持的滑动支柱［蓝旗亚、摩根（Morgan）］和由卷簧支持的绕中心旋转的叉形杆（别克、卡迪拉克、奥尔兹）。在杜邦内特系统（Dubonnet system）中，卷簧装在充满机油的罐体里。另一系统是扭力杆，大战

前除在大众（Volkswagen）汽车样品上使用外，几乎没有用过。在这种扭力杆中，应变是靠扭转一根钢杆而不是压缩弹簧来达到的。独立悬置最初只用于前轮，但某些先进的欧洲大陆汽车——例如斯科达（Skoda）和斯蒂尔（Steyr）——选择了独立后悬置，从第二次世界大战以来就开始广泛使用了。

719

从1905年左右到20世纪30年代，几乎每辆汽车都是由前置发动机来驱动后轮。1929年，美国的科德（Erret Lobban Cord）制造了那种明显又长又低的L29型汽车，它是用前轮来驱动的，另一种少量生产的美国汽车拉克斯顿（Ruxton）进行了仿效。成为第一批大量生产前轮驱动的汽车。1934年，雪铁龙的“牵引先驱”（已经在整体结构部分提过）。这种汽车完全照搬以前的设计，到1957年产量超过76.2万辆。在20世纪30年代，其他的欧洲前轮驱动汽车是德国的D.K.W.和阿德勒（Adler）、法国的罗桑加特（Rosengart）、捷克的艾罗（Aero）和爪哇（Jawa）。英国落后了，只有B.S.A.汽车公司用前轮驱动。美国也是保守的，只有少量生产的科德（Cord）汽车采用这种设计，并且在1937年以后也停止生产。直到第二次世界大战以后，美国汽车才采用前轮驱动设计。20世纪30年代开始出现后置发动机，另辟蹊径地消除了贯穿汽车全长的驱动轴，捷克的塔特拉斯（Tatras）汽车是典型样板。这种汽车呈流线型且车速极快，重量却集中在底盘的后部，驾驶起来很危险。直到20世纪60年代，中置发动机汽车（发动机在座位后面，后轴前面）出现以后，真正大功率的小汽车才改由前置发动。梅塞德斯-奔驰（Mercedes-Benz）公司制造了几辆小型后置发动机汽车，费迪南德·保时捷（Ferdinand Porsche）公司的大众汽车也采用了同样的布局，它的原型产于1939年。第二次世界大战后，可能是由于大众汽车成功的影响，其他机械制造厂开始大量生产后置发动机汽车，包括雷诺（Renault）（1948年）、菲亚特（Fiat）（1955年）、雪佛莱（Chevrolet）（1960年）和希尔

曼(Hillman)(1963年)。

对每天开车的司机来说，让汽车容易驾驶的辅助装置比发动机的位置更为重要。其中，电力起动机和同步啮合传动装置对普及汽车起着绝对重要的作用。取消摇柄来启动的初步尝试是采用压缩空气进入每个汽缸点火，空气由发动机来压缩，还可以用来给轮胎充气或使千斤顶升起。1912年，卡迪拉克公司首先使用了电力起动机，这种小发动机最初是为操作现金出纳机而研制的。凯特林(C. F. Kettering)首先认识到，这项开发的关键在于电动发动机在很短时间内能够承载超负荷，一个相当小的发动机足够带动一辆汽车发动机的点火。到1930年，这种启动装置逐渐扩展到其他型号的小型汽车上，虽然在大多数汽车上摇柄继续保留了较长一段时间，但除了紧急情况外，使用摇柄已经成为过去的事情。1929年，通用汽车公司生产的卡迪拉克汽车首先采用了同步啮合传动装置，在齿轮啮合之前能自动使齿轮的速度同步。1932年，劳斯莱斯公司和通用汽车公司的另一种车——沃阿尔(Vauxhall)汽车使用了这种变速箱，人们不必两次踩开离合器，驾驶比以往变得容易一些。但是，仍然有人要求进一步简化，促使自动变速器开始发展。当时设计了许多装置，但第一个被大规模采用的是通用汽车公司所开发的液压传动。它使用液压连接器和行星齿轮系统，可以提供四挡向前和一挡向后的速率自动变换。1940年，奥尔兹汽车首次选用这种自动变速器。到20世纪50年代，它作为标准部件在美国较大的小汽车上广泛使用，包括劳斯莱斯汽车，手动变速器再无用武之地。 720

战后初期，一些国家出现了微型汽车，这是因为石油短缺和普通汽车价格昂贵而造成的。这些微型汽车的机器大多很粗糙，远远没有反映技术的发展。它们反而使人们回想起更早的年代，比如单缸或双缸气冷发动机、反冲式发动机和链条传动等。随着20世纪50年代欧洲的逐渐繁荣，这种微型汽车就消失了。

蒸汽汽车 跨入20世纪时，有许多人断定蒸汽机对汽车来说，和内燃机一样有着光明的前途（第V卷，边码420—426）。实际上，1901年和1902年销售量最大的美国自动机车是蒸汽汽车，尽管市场上有50多种不同的蒸汽汽车，但在设计和外形上都很相似。它们有两个汽缸发动机，由大约180—200磅/英寸^{2}工作压力的锅炉提供动力，单个链条驱动后轴中间部位，具有自行车式的钢管构架，装有全椭圆形弹簧和金属辐条车轮，锅炉用煤油作燃料，最高速度大约为25英里/时。这些轻便的小车重量不超过7英担，常用车身是双座敞篷，一旦开动起来，比同时期的汽油汽车优势更多，除了在加速时发出嘶叫声外，几乎不产生任何噪声，这是因为没有了所谓“讨厌的爆炸发动机”所特有的振动。更重要的是，蒸汽发动机的灵活性使变速器不再必要了。所以，用一个非同步装置换挡——或许是早期最困难的传动问题，就可以避免了。虽然有这些优点，但起动却困难了，721 通常要用45分钟进行21个单独的步骤，其中第一步是把“汽车放在顺风的方向”。

作为普通锅炉的替代物，闪电式高压发生器把少量的水导入被加热到赤热的蛇形管中，水立即转变为高压蒸汽。这种发生器是由塞波莱（Léon Serpollet）发明的，并被应用在他自己的汽车上，直到1907年才停用。事实上，这种发生器也曾经用在美国怀特（White）汽车上。

蒸汽汽车在美国之外的地方很少受到欢迎，甚至在美国这种汽车的热潮到1905年也过去了。此后，只有怀特（White）和斯坦利（Stanley）继续为此奋斗。当这两个重要的汽车制造者力图赶上日趋完善的汽油汽车时，蒸汽汽车变得更加昂贵，1902年每台750美元的斯坦利汽车，到1918年竟然达到2750美元，进入高档汽车之列。1910年，怀特开始使用汽油发动机，斯坦利却继续为蒸汽汽车降价，一直努力到1927年。同时，一台新蒸汽汽车样车制造出来，无论是

精致程度、性能还是价格都是前所未有，这就是多布尔（Doble）汽车（图30.4）。它最初在底特律制造，后来在旧金山制造，有一个四缸卧式双动复式发动机，带有一个闪电式高压发生器，采用电力点火，能在30—45秒之间产生750磅/平方英寸的压力，一个真正有效的冷凝器可以把产生的蒸汽几乎全部吸收掉。由于车身轻，多布尔汽车能够在8秒内从零加速到40英里/时，最大速度为108英里/时。然而，或许正是这些优点使得多布尔汽车的价格高达1.12万美元，成为最贵的美国造客车。当时，既有胆量又买得起蒸汽汽车的人寥寥无几［其中一位是年轻的休斯（Howard Hughes）］。在1923—1932年期间，多布尔汽车只销售了45辆。在它过时之后，尽管至今还有几个脱离实际的实验者没有放弃它，但世界上再也找不到生产蒸汽汽车的地方了。

722

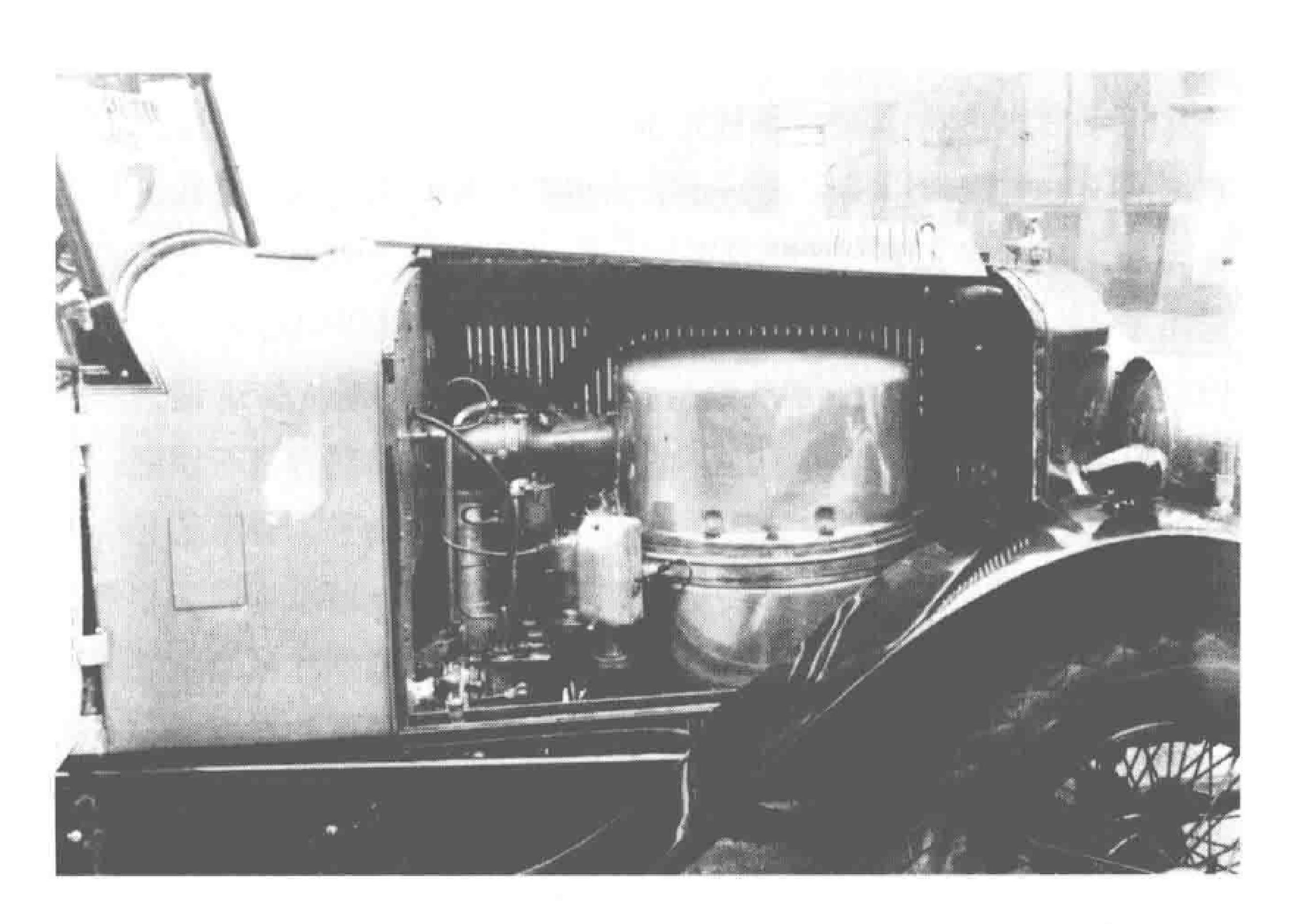


图30.4　1924年的多布尔E型蒸汽汽车，展示出了发动机罩下面的锅炉。发动机刚好在后轴前面。

30.2 货车

内燃机货车 第一批载重运输商用车辆是在当时客车的基础上制造的，出现于19世纪90年代晚期。由于功率小，轴距短，这些车用途很有限。例如巴黎的拉斐特(Galeries Lafayette)百货商店和卢弗尔(Grands Magazins du Louvre)百货商店等公司使用过的早期大篷货车，宣传目的大于运输作用。这些专门为商用而制造的车辆把司机的座位放在发动机上面，而不是它的后面。1898年，这种设计由德国戴姆勒公司最先进行，并在美国广泛应用，直到1914年才正规地用于较大型的载重汽车。它的一个主要缺陷是振动会传给司机，并且随着汽车行驶里程的增加而加大，导致前置控制位置不再受欢迎，直到20世纪30年代发动机振动减小后，它的应用规模才有所回升。司机和他的助手坐在发动机的两旁，而不再是发动机的上面。

在1914年以前的年代里，货车的使用大大增加，尽管同客车或公共汽车相比，马继续保持着更重要的地位。1914年，马拉货车还是比机动货车多得多。机动货车很少用于超过50英里的运输，因为它们的速度太慢，不能和铁路竞争。然而，长距离的示范运输进行得相当早。1912年，第一次穿越美国的机动货车由“派克牌”货车完成，它用了46天。不过，1931年只用5天就完成了同样的路途。1914年以前，货车最主要的任务是给铁路供应货物，只把货物运到火车站，再由铁路进一步运送。由于这样的运输通常由铁路部门自行组织，一些偏僻的村庄和渔村就被包括在铁路运输范围之内了。货车的另一个重要作用是从农场把新鲜水果、蔬菜和鸡蛋运往城镇市场，还用来运送批发货物，以及那些出售给公众的煤、油、啤酒、冰、杂货、家具和邮件等。此外市政用的汽车则包括救火车、救护车和街道清扫车。

723

在设计上，货车与客车没有多大区别。轻便货车采用一个或两个汽缸的发动机，由链条或皮带传动变成轴传动，尽管较大型货车至少到20世纪20年代仍然保留着链条。第一次世界大战前，商业车

辆几乎应用6缸发动机，典型的动力装置是一种大型4缸T型头或L型头发动机，容积达8升，转速为1000转/分钟，大约40制动马力。几乎没有几种货车的额定载重量大于5吨，纽约休伊特(Hewitt)汽车公司的广告中有一种10吨货车，但它和5吨货车采用同样的发动机和构架，只是弹簧和车轮稍大一些。额定载重量并不表示货车能够承受的实际荷载，制造厂在明确定额荷载时通常允许超载100%。大型休伊特货车具有的最大速度不超过8英里/时，3吨载重量的小型货车能达到20英里/时。

铰接货车早在1898年由英国桑尼克罗夫特(Thornycroft)公司制造，但并没有直接的后继者。在马萨诸塞州斯普林菲尔德市，诺克斯(Knox)公司第一个制造出牵引车挂车组并投入市场。由马丁(Charles H. Martin)设计的诺克斯系统包括"第五轮"转盘，通过半椭圆板弹簧装在牵引车的后轴上。挂车的重量由它自己的车轮承担，这使得牵引车的结构能够轻便一些。这种转盘原来用在一种三轮牵引车上，一个长长的转向柱伸过罩顶通到单一的前轮上。早期的诺克斯牵引车是1909—1915年间制造的，常和马拉的挂车一起使用，也用于救火的带梯消防车。1915年，一种四轮车代替了三轮车，主要是因为两道车辙比三道车辙更合适不平坦的地面。英国的斯卡梅尔(Scammell)拖车最终要比诺克斯更有名气，这种四轮拖车装有47马力4缸发动机，用两根链条传动，使用诺克斯转盘，在1920年投入生产。一些厂家继续制造这种拖车，因为它可以被视为一个整体而不是一辆货车和挂车，这样速度限制能够提高到12英里/时，而拖拉满载挂车的车辆仍然要遵守5英里/时的限速规定。载重量的限制按照每根车轴的负荷来计算，斯卡梅尔车有三根车轴，每根车轴的负荷不到6吨。它比装有同样车轴的四轮车可以多装50%的货物，尽管有时货物多达15吨，还是被列为7吨级的车辆。

724

1926年的一个重要进展是制成了无车架的油罐车(图30.5)，一

个巨大的圆筒油罐由前面的“第五轮”转盘和后面的一根车轴支撑。这种无车架的斯卡梅尔油罐车用途广泛，载运燃料油、啤酒、牛奶、苦艾酒、糖浆、工业化学原料以及许多其他液体和气体，直到现在还在制造。到20世纪20年代后期，铰接半挂车在许多国家仍被广泛使用，载重量从2.5吨到100吨。20世纪30年代期间，双轴挂车开始出现，现在仍然也很普遍。铰接挂车的一种特殊形式是所谓的“机械马”，也是斯卡梅尔首先制造的。即这种三轮拖车以一个小客车的发动机作动力装置，拖运荷载为2—6吨，被铁路公司广泛用来替代大量的马匹运输。斯卡梅尔“机械马”在1932—1965年间制造，另一家英国公司卡勒(Karrier)在1932—1941年间也制造这种货车。

725 除了半挂车外，增加装载面积的另一种方法是在一个刚性底盘上使用三根车轴，这是英国福登(Foden)公司在1903年最先提出的。不过，第一台刚性六轮车的制造商是美国固特异(Goodyear)轮胎公司，它们在1920年制造了几台这种货车用来展示大型充气轮胎。美国有几家公司制造并出售刚性“六轮车”，包括费城的六轮公



图30.5 斯卡梅尔无车架的铰接油罐车，1927年。

司（以其六轮汽车而出名）和道格拉斯、法乔尔（Fageol）、莫尔兰德（Moreland）等公司，后来又有马克（Mack）、奥特卡（Autocar）、通用和怀特等大厂家参加。六轮货车在平整的地面上行驶时，负荷并不太重，只需驱动后双轴架的前轴，后轴只起支撑作用。但在乡间崎岖道路上重载行驶时，就必须有更大的牵引力，两个轴都要用动力驱动，这就是众所周知的 6×4（6 轮车四轮驱动）的布局。通常的驱动系统是由传动杆和伞形齿轮或螺旋齿轮传递给两个轮轴，但有些特重型美国货车和一些英国蒸汽货车则用链条连接到两个轮轴。战前，刚性六轮货车载重量在 10—15 吨。为进一步增大载重量，一些英国公司在车的前部另外加了一个非传动轴，制成 8×4 或"刚性八轮"。第一辆这样的车是 1929 年制造的森蒂纳尔（Sentinel）DG8 型蒸汽货车。在 20 世纪 30 年代，这种货车由大多数著名的重型货车制造商继续生产，包括 A.E.C.（图 30.6）、莱兰（Leyland）、阿尔比恩（Albion）和斯卡梅尔等公司。

1908 年，有动力前轴的四轮驱动车在美国出现。当时，来自威 726



图 30.6 A.E.C. 巨大的刚性八轮货车，1934 年。

斯康星州的两位工程师察霍（Otto Zachow）和他的妹夫威廉·贝瑟迪什（William Besserdich）发明了一种双动 Y 型万向节，节头包在球窝节内，能够把动力传递到驱动轮上，而轮子仍旧可以转向。1912 年，威斯康星州有一家新开的克林顿维尔（Clintonville）四轮驱动汽车公司，把这个原来用在客车上的原理应用到它所制造的一辆 3 吨卡车上。这种新式的 4×4 型汽车在沙地或泥地上行驶时，牵引力要比 4×2 型汽车大得多。第一次世界大战期间，这家公司为美国武装力量提供了 1.5 万多辆这种汽车，20 世纪 20 年代还继续生产。此外，它还生产包括 4×4 型在内的其他汽车，例如 6×4、6×6 和 8×6 等型号的汽车，一直持续到今天。包括杜普莱克斯（Duplex）、杰弗里（Jeffery）[后来叫纳什（Nash）] 和奥谢科什（Oshkosh）在内，其他几家美国公司曾经制造过早期的四轮驱动货车。三驱动轴原理（6×6）在 20 世纪 20 年代试验性地应用过，后来在第二次世界大战中被广泛用于军用卡车。

两次世界大战期间，商用车最重要的发展也许是柴油发动机。19 世纪 90 年代，作为固定式发动机的压缩内燃机最先发展起来，1923 年由德国奔驰公司和 MAN 公司应用于公路汽车。这一想法人们最初接受得很慢，主要是因为它没经过试验，比较昂贵，再加上压缩比高达 25：1（20 世纪 20 年代普通汽油发动机的压缩比为 5：1 或 6：1），致使启动非常困难。为了解决这一问题，采用了各种不同的方法，其中包括用一种压缩杆以便能手工启动一个或两个汽缸，用电热塞来加热汽缸，或者用一个较小的汽油发动机通过摩擦传动来转动柴油发动机的飞轮，因为人们发现常规电力起动器的功率不够。然而，柴油发动机具有节省燃料（1 加仑油能跑更多英里，而且燃料价格便宜）的优点，比汽油发动机具有更大的拉力，这就逐渐促使制造厂转向柴油发动机，并且从随意走向规范化。1931 年，梅塞德斯 - 奔驰公司已经在制造非汽油发动机的商用货车底盘。1938 年，整个德国所生产的商用车中，45% 以柴油机为动力装置。大多数柴油机通常是按 4

个或6个直列汽缸来设计的，只有法国制造的容克(Junkers)对置活塞装置是一个例外，它被称为CLM。20世纪30年代初，柴油机最早出现在美国。由于汽油既充足又便宜，直到第二次世界大战之后很久，美国才大规模使用柴油机。

727

蒸汽机货车 自19世纪80年代以来，蒸汽牵引机一直在广泛使用。19世纪末到20世纪初，无论被人们称为蒸汽卡车(Steam lorry)，还是蒸汽货车(Waggon)，都开始具有商业性，尤其是在英国。它有上置型和下置型两种基本结构，前者有一台卧式的机车式锅炉，发动机装在上面，由长链驱动后轴，看上去很像一台牵引机，后面带有一个装货箱。虽然和相同尺寸的下置型相比，上置型装货的空间小了一些，但这种改进后的设计的发动机可达性极好，最有名的设计是福登上置型货车(图30.7)。1901—1927年，福登建造的上置型汽车比任



图30.7 福登上置型蒸汽货车，1916年。

何其他厂家都要多。下置型有一个立式锅炉，或者放在司机前面，或者正好放在司机后面，发动机安装在汽车底盘上。有少数下置型货车采用较短的机车式锅炉，约克夏尔（Yorkshire）的下置型货车则应用横放的卧式锅炉。发动机通常是双缸装置，锅炉的火管或水管工作压力控制在200—276磅/平方英寸。

728

由于英国有充足而便宜的煤，蒸汽货车使用得比任何其他地方都更加广泛。一直到1914年，它广泛用于载重量为5吨或以上的货车。到1926年，超过1万台蒸汽货车在英国被使用，跑一英里的价格不超过两个便士。然而，当汽油发动机货车可以运载更重的货物时，蒸汽货车的缺点就比较明显了。其中，最主要的缺点是操作蒸汽货车要求熟练的技能，还需要两个人一组。熟练的蒸汽货车司机不易找到，特别是雇主不愿出高价雇用。柴油发动机是蒸汽发动机的竞争对手，因为这种发动机也具有相同的优点，节省燃料并适合繁重的任务。1933年，以货车空车重量为准的英国新税收制度给蒸汽货车以致命的一击。蒸汽货车必定是重型车，新税制意味着同样载重10吨的情况下，蒸汽货车的收税额要比柴油机卡车高得多。最后一批蒸汽卡车森蒂纳勒（Sentinel）S4、S6、S8型和最后提到的载重15吨的刚性八轮货车都是优质产品，它们带有转动炉条，可以自动给锅炉输送燃料，采用4缸单动的横式发动机，并广泛使用了铝合金。内燃机汽车的部件都已经被使用，例如传动轴驱动、电点火装置和气胎等。

30.3 公共汽车

20世纪的头25年，公共汽车的研制方法同货车大致相似。它起初很小，只是在底盘上装有仅供9位或10位乘客的敞篷车身。到了1905年，许多货车制造商宣称他们的底盘适用于公共汽车的车身。然而，这样的车辆并非专门为乘客建造，原有的装货位置非常高，需要加装几个踏板才适合客运。双层汽车被广泛使用，这种设计曾经

出现在大家熟悉的公共马车上。1910年，伦敦有1142辆机动公共汽车和数量大致相等的公共马车。4年之后，最后一辆公共马车消失了，机动公共汽车的数量超过2500辆。

尽管1919年伦敦的K型公共汽车采用了驾驶位置在前面的平头车型，但是第一次世界大战后的几年里，公共汽车几乎没什么变化。接下来，出现了几种划时代的设计。1921年，加利福尼亚州奥克兰的弗兰克·法乔尔（Frank Fageol）和威廉·法乔尔（William Fageol）兄弟发明了"安全客车"，可以容纳22位乘客。这种单层长途车采用封闭车厢，底盘侧梁向上弯曲越过车轴，车轴之间的车厢底部离地面仅19英寸。因为这种特点，法乔尔"安全客车"采用了比通常要宽阔的轮距，呈现出全新而低矮的外形。短短几年，这种汽车销售了数百辆，很多美国汽车制造厂也开始仿造。1924年，低车身的单层和双层汽车在英国问世，同时还广泛地应用了气胎。1927年，法乔尔兄弟发明了双发动机客车（图30.8）。这种划时代的客车看上去前后几乎一样，由装在底盘两旁前轴后面的两台4缸发动机驱动，可以乘坐43人，而常用的最大单层汽车只能容纳29人。它在1927年是革命性的，即使在今天看来也并不特别陈旧。1934年，这种双发动机被一个置于后轴后面的横式发动机所代替，但双发动机客车继续沿用平头车型和在车轴前面有一个入口（由司机控制的气动车门）的布局原则，很快被美国所有的公共汽车制造商所采用，用于可以乘坐30位或更多乘客的汽车设计。1935年，双发动机客车建造成美国第一台柴油机公共汽车。

729

欧洲汽车制造商放弃传统的前置发动机公共汽车比较晚，虽然英国A.E.C.公司在1932—1936年间生产了233辆单层公共汽车和4辆双层Q型公共汽车。这种汽车只有一个侧置发动机，就像1931年德国公共汽车公司的NAG型6轮有轨电车一样。1941年，伯明翰和中部机动公共汽车公司作为一家营业公司设计并制造了自己的公共汽车，

730



图 30.8　双发动机侧引擎客车，1928 年。

把卧式发动机装在底板下面。这种单层公共汽车在 1946 年才投入生产。1948 年，A.E.C. 公司生产了拉吉（Regal）IV 型公共汽车，同样在底板下放置发动机。几年之内，几乎所有的公共汽车制造公司都采用了底板下面或后面放置发动机的布局，只有少于 20 个座位的小型公共汽车和校车才采用前置发动机的布局。

20 世纪 30 年代，公共汽车的另一个重大发展是单壳体车身的出现，底盘与车身成为整体结构。1935 年的双发动机 23R 型客车有加重的横梁，车轴间有一根纵向加强杆和由角钢围成的车厢。1935 年，底特律市的加伍德（Gar Wood）工业公司开始生产斯托特（William B. Stout）设计的可容纳 24 位乘客的公共汽车，它的车身由焊接钢管构成，表面覆盖着一层铝合金薄板。这种车有一台福特 V-8 型发动机，装在尾部来驱动后轴。直到 1952 年，它和其继承者——空中客车（图 30.9）才停止生产。

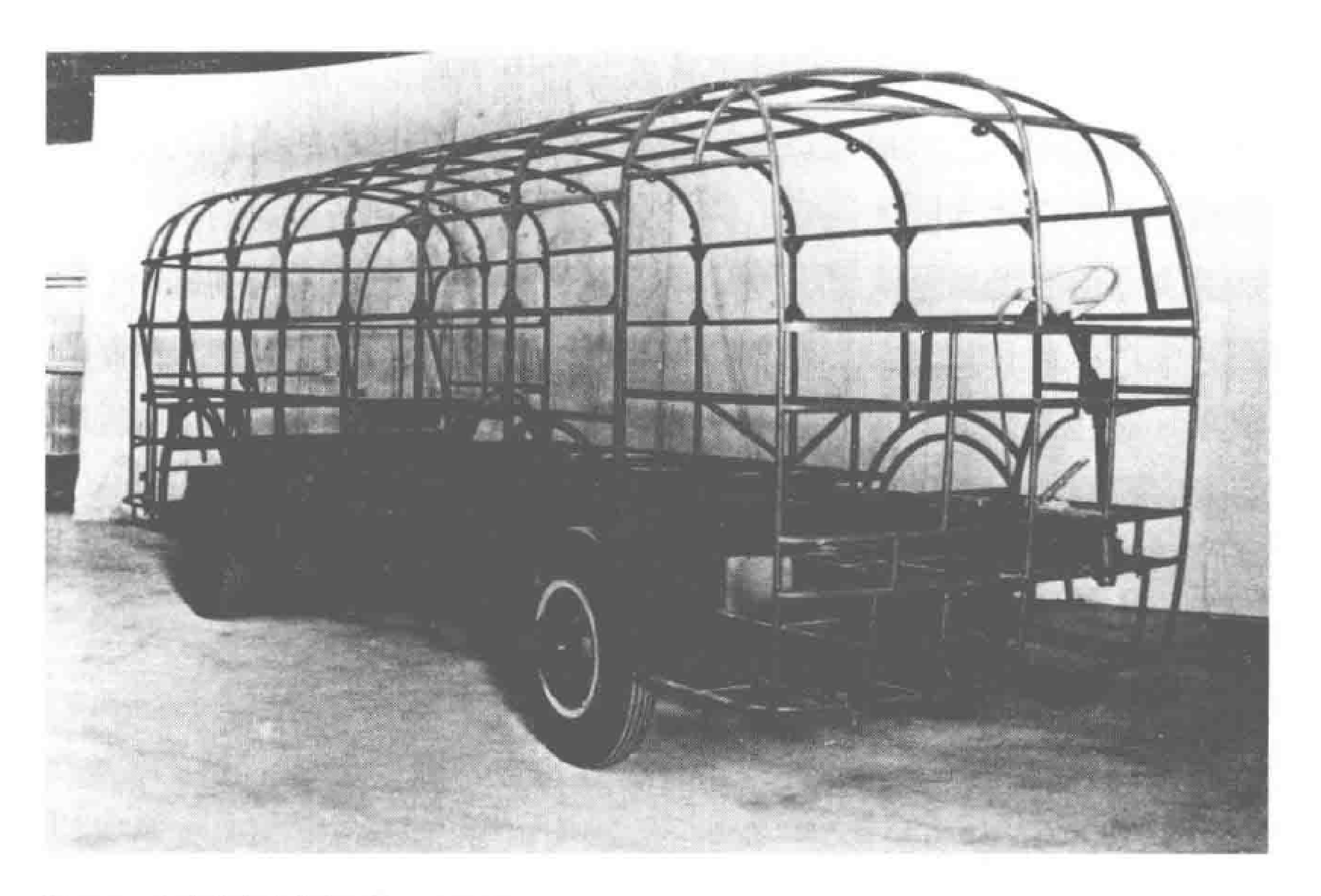


图 30.9 空中客车的基本工艺，1941 年。

731

公共汽车在乡村地区有着更大的社会影响，因为它把较贫穷的村民从乡村带到城镇和沿海市场，而以前他们顶多是希望在马车上有个座位，否则的话就不得不步行。乡村公共汽车还从偏僻的村庄收集牛奶和邮件，像货车一样为铁路运送乘客和货物，其实许多铁路都经营庞大的公共汽车的车队。在第一次世界大战后，许多复员军人把他们的复员费投到一两个大型车队，使得一大批这种敞篷汽车在节日期间从工业城市纷纷涌出。这种汽车速度不快，也并不舒适，但它们可以给那些在城市工作的人一个离开每天生活环境的机会，并且价格能够负担得起。

30.4 电动车辆

20 世纪流行两种不同类型的电动车辆，分别是以自备蓄电池作为动力的机动车和以架空电线的电流驱动的无轨电车。蓄电池电车

到 1900 年已经很流行，既用于私人，也用于商业。康涅狄格州哈特福德市电动车辆公司制造的 300 多台电池车，在纽约和美国其他城市使用。这种电池车不太成功，因为建造蓄电池充电站所需的费用很高。19 世纪 90 年代，伦敦出租电动车的经营者也遇到了这个问题。1900 年，生产“哥伦比亚牌”电池车的电动车辆公司制造了全美最多的电池车，它包括乘坐两个乘客的小型轻便车和 5 吨重的货车。前一种装有 44 个电池的蓄电池组，电动机的齿轮直接啮合后轴，最大速度为 20 英里 / 时。蓄电池电动货车在美国城市颇为流行，它们有限的活动范围和低速度（有时不超过 6 英里 / 时）在那里并不被看作严重缺陷。对真正重型货车来说，单个电动机的功率肯定不足，一种通常的解决办法是采用 4 个独立的电动机，在每个车轮上安装一个，电流从 44 个电池的蓄电池组发出，蓄电池组占据了前后轴之间大部分地方。另一种方法是汽油电力系统，借助一个通用汽油发动机来带动发电机给电动机供电。这种电动机可以装在车轮上，例如美国连接传动装置公司生产的汽车。单一电动机也可以装在电车车架的中间，例如英国蒂林 - 斯蒂芬斯（Tilling-Stevens）公司生产的汽车。

电动小汽车在美国比在任何其他地方更流行。1900—1920 年，电动四轮车或小轿车广泛用于城市社交活动和购物。1914 年的典型车型有 40 个电池的蓄电池组用方向盘或舵杆来转向，有 4 挡或 5 挡速度，可以由拉杆或踏板来控制。踏板控制速度与汽油车加速器的方法相反，完全踏下踏板可以刹住车辆，逐渐松开踏板时，车就加速了。

732

20 世纪 20 年代期间，电动车的建造和使用几乎缩减到了零。电池车限定在蓄电池的更换或充电之中，行程很少有超过 50 英里的，这是一个缺点，几乎没有一位机动车司机愿意使用。特别是在公路改善使郊外旅游成为可能的情况下，更没有人愿意使用电池车。同样，重型电池货车被具有更快车速和更长行程的内燃机汽车所取代。但是，

在逐门逐户的运送工作中，特别是在牛奶和面包的运送中，电池车找到了新的市场。直到20世纪30年代早期，这些工作还在由马车来完成。当时，专用的小型电池货车和牛奶车开始大量出现，载重量很少大于25英担（cwt）。这种车在英国特别流行，直到现在仍然保留着制造它们的产业。最小的电池车是5英担载重量的“手推车”，用来运送牛奶和邮件，以及在狭窄的场地收集垃圾。

1882年，无轨电车在德国首次出现。1901年，萨克森区比勒塞尔城首先把无轨电车作为公共交通工具。由希曼（Max Schiemann）设计的这种无轨电车，用电线下的滑动接触器代替了在有轨电车上常见的弓形集电器。1901—1914年间，许多无轨电车线路在德国和奥地利开通。1911年，英国也建立起第一条无轨电车网。所有这些早期无轨电车都是单层的，采用宽辐轮和实心轮胎。它们并不令人满意，因为是从有轨电车发展而来的，而不是一开始就被设想为无轨电车。1923年，这种设想在蒂林-斯蒂芬斯公司为沃尔弗汉普顿市（Wolverhampton）建造的无轨电车上得到实现。1926年，盖伊（Guy）进一步把双驱动六轮和充气轮胎引入无轨电车。当时双层电车非常普遍，既有四轮的，也有六轮的。20世纪30年代后期，一批整体结构的双层电车用于伦敦的交通运输。在无轨电车杆中使用碳衬的滑轨，大大增加了空架线的寿命，成为伦敦交通运输工具的一大重要进展。

无轨电车似乎会自然地代替有轨电车，它的高峰年代大约是第二次世界大战之后。那时，全世界拥有这种无轨电车6000辆以上。但在这之后的25年中，由于电和高架装置的成本增加，以及在适应单向交通改造方面缺乏灵活性，导致无轨电车的数量明显减少。

733

30.5 摩托车

直到20世纪头几年，摩托车的生产仍然很有限。早期的摩托车设计主要是把大部分自行车摩托化，尝试把发动机放在自行车的不同

位置上，包括水平放置在后轮前面，或者垂直放置在前轮上方，由皮带传动。实际上，许多摩托车都是在普通自行车车架上装上专用发动机，例如克莱门特（Clément）或米纳瓦（Minerva）发动机。摩托车的进一步重要发展是由法国沃纳（Werner）兄弟完成的，他们在1901年制造的摩托车装有262毫升、2马力的单缸发动机，垂直放置在前轮后面，铝制曲轴箱成为车架整体的一部分，而不仅仅是附加上去的（图30.10）。这种做法很快被英国一些制造厂所采用，包括费伦和穆尔（Phelon and Moore）、亨伯（Humber）以及鲁宾孙和普赖斯（Robinson and Price）。早期摩托车是单缸发动机，后来为了增加功率，效仿汽车那样改用两个汽缸。这种双缸摩托车的最合理形式是V型双缸，因为当汽缸安置在两侧时，它自然适合于前后轮之间的三角形车架。英国普雷斯特维奇（J. A. Prestwich）公司制造了少量的完整机器脚踏车，但它的V型双缸发动机更有名气，供应给摩托车和轻便小汽车的其他制造商，这让它成为V型双缸的先驱者之一。

734

双缸发动机的另外两种形式是垂直双缸型和水平对置型或称扁平式双缸型，前者到20世纪30年代才开始使用。1906—1957年间，布里斯托尔（Bristol）的道格拉斯摩托车公司制造了不同大小的扁平式双缸型发动机，并使之扬名于世。四缸直列发动机是比利时的F.N.公司在1904—1923年间的杰作，奥地利的劳林和克莱门特公司（Laurin

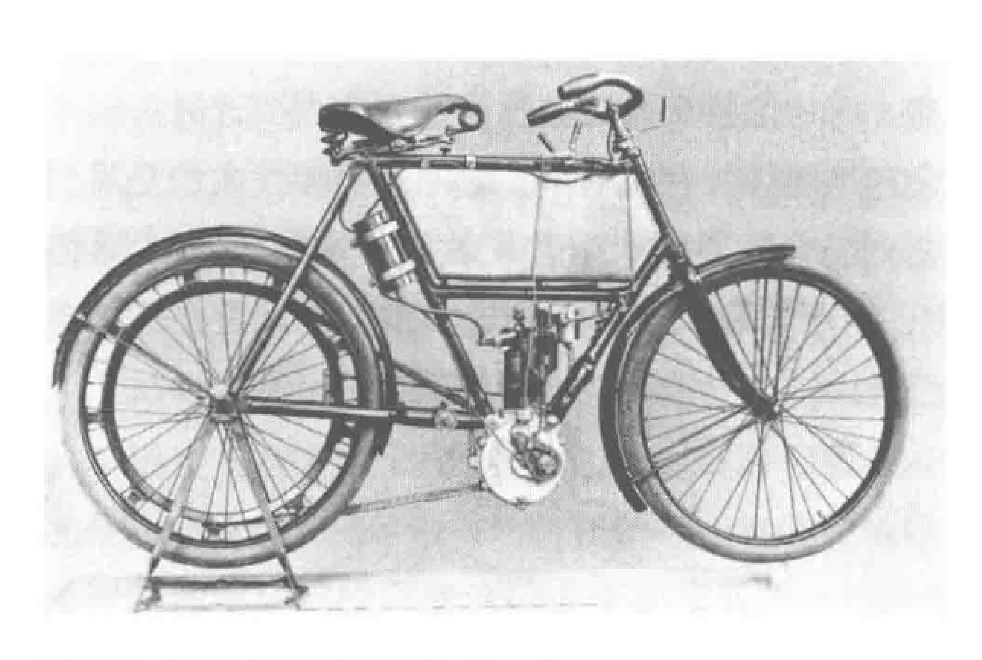


图30.10 沃纳2马力机动自行车，1902年。

and Klement)、德国的杜科普公司(Dürkopp)和美国的亨德森公司(Henderson)也都制造这种发动机。大约在1912年以后，虽然链条传动普遍出现在较大功率的机动车上，但皮带传动仍旧在使用。早期的摩托车根本没有离合器和变速器，起动时需要人随着车奔跑，直到发动起来再跳到座位上去。随着大功率摩托车的重量增加，安置一种变速系统就必不可少了，可变滑轮和皮带或轮毂中行星式齿轮装置由此流行起来。

早期三轮摩托车曾经盛行一时，特别是布顿公司(de Dion Bouton)在1895年设计的发动机问世后，因为新发动机的速度(1500转/分)比任何其他发动机都要高。许多公司很喜欢这种三轮车，因为它比两轮车要稳，两轮摩托车在潮湿的路上容易滑倒，也经常发生被狗袭击而摔在地上的事故。直到1901年，布顿公司的三轮摩托车还在大量生产，而且进一步做出了更复杂的设计，在前轮之间带有供一位乘客坐的柳条筐形座位。这种被称为三轮汽车的交通工具，逐渐具备了汽车的特征，驾驶盘代替了操作柄，正式座位取代了鞍形座位，气冷单缸发动机让位于水冷双缸发动机。三轮汽车的兴旺时期大约在1903—1908年，随后被两个并排座位的汽车普遍取代。

增加两轮摩托车载重量的最好办法是增设跨斗。1903年首次出现的跨斗只是简单的藤制座位，但很快就变得更舒服了，有精制的挡风玻璃、折叠的车篷和车门。直到20世纪30年代，完全封闭的轿车式跨斗才出现。

摩托车的全盛时期是两次世界大战期间，它为许多用不起汽车的人们提供了独立的运输工具。典型的发动机设计是大型V型双缸发动机，容量高达1000毫升，功率为70制动马力。其中，最好的设计之一是布拉夫·苏必略(Brough Superior)公司的998毫升J.A.P.型侧阀和顶阀发动机，后者能够保证车速达到100英里/时。扁平式双缸发动机是道格拉斯和宝马公司的特制品。1935年，凯旋公司又重新

倡导竖式双缸发动机，它比 V 型双缸发动机更小巧，横向放置能使两个汽缸的冷却更均匀。二冲程发动机普遍应用于各种轻便机动车，它们由达尼尔特（Dunelt）、莱维斯（Levis）、维洛西特（Velocette），特别是斯科特（Scott）等公司制造。

小型机动车在 20 世纪 20 年代初曾经盛行一时，后来在第二次世界大战刚结束时，意大利皮亚乔航空公司（Piaggio）又使它实现了复兴。这家公司的“维斯泊牌”（Vespa）摩托车有一个 98 毫升单缸二冲程发动机，由一个三挡变速器和链条来驱动后轮，并有一个冲压外壳和点焊而成的骨架。后来的各种“维斯泊牌”摩托车所用发动机容量不等，最大可达 150 毫升。这种设计盛行一时，并为意大利、法国、德国、英国、西班牙、奥地利、捷克斯洛伐克和苏联等国家的许多制造厂所采用。第二次世界大战后的另一发展是机动自行车或摩托化自行车的复苏，发动机只有 49 毫升。早期设计是通过摩擦传动装置来驱动前轮，后来被链条带动后轮所取代，N.S.U. 公司的奎克利（Quickly）和本田（Honda）公司的 C50 型就是链条传动的范例。

参考书目

Automobile Quarterly. The American car since 1775. Dutton, New York. 1971.

Bolster, John. *The upper crust.* Weidenfeld and Nicholson, London. 1976.

Buchanan, C. D. *Mixed blessing, the motor in Britain.* Leonard Hill, London. 1958.

Cornwell, E. L. *Commercial road vehicles.* Batsford, London. 1960.

Day, John. *The Bosch book of the motorcar.* Collins, London. 1975.

Georgano, G. N. *A history of sports cars.* Nelson, London. 1970.

——(ed.) *The complete encyclopedia of motorcars 1885 to date.* Ebury Press, London. 1973.

Montagu of Beaulieu, Lord, and Bird, Anthony. *Steam cars 1770 to 1970.* Cassell, London. 1971.

Nicholson, T. R. *The vintage car, 1919–1930.* Batsford, London. 1966.

Plowden, William. *The motorcar and politics, 1896–1970.* Bodley Head, London. 1971.

Sedgwick, Michael. *Cars of the 1930's.* Batsford, London. 1970.

Seth-Smith, Michael. *The long haul, a social history of the British commercial vehicle industry.* Hutchinson Benham, London. 1975.

第31章 船舶和船舶制造

布赖恩·巴克斯特（BRIAN BAXTER）

31.1 船舶设计

自远古以来，木材曾是造船的唯一材料。这是因为木材在世界各地都很容易获得，并且容易用简单的手工工具加工。木船采用横向框架，铺上木板，并用铜、铁或钢制的螺栓或螺钉固定。虽然隔舱很狭小，稳定性往往不够，但是直到19世纪末，仍有一定数量的木船被建造（图31.1）。不过总的来说，木船的历史属本书前几卷的范围。

19世纪初期，开始使用锻铁造船，发明的蒸汽发动机需要更大的空间安装机器和布置煤舱，加速了以铁代木的变化。铁船的设计沿用木船设计的方法，仍然采用横骨架结构，在框架上铆接船身板，在横梁上铆接甲板，横梁和框架则用铆接托架连接起来。后来，用锻铁建造的船只日渐减少，这是因为它容易过度锈蚀，船底容易粘满贝类和海藻。但在20世纪最初几年中，仍有许多铁船在使用。

1870年左右，开始采用钢材造船。1877年，在劳氏船级社（Lloyd' s Register of Shipping）公布《钢船规范》（*Rules for steel ships*）后，低碳钢船体飞快地取代了锻铁船体。到1890年，大约90%的英国船舶是用钢材制造的。钢材的引入对设计并无太大的影响，仍然采用横骨架结构造船法。但是，造船科学的发展改进了船舶的总体设计，尺

寸加大了，重量减小了，而且用各种不同的方法来组装船体结构。结构设计科学原理的应用和电焊取代铆接，使船体结构发生了巨大变化。1919年，第一艘焊接船“富拉格号”(Fullagar)在坎梅尔·莱尔德(Cammell Laird)下水。在航行17年以后，这艘45米长的船被撞毁沉没。

20世纪40年代，人们对两艘相像的油船进行了试验，一艘是焊接的“内维利塔号”(Neverita)，另一艘是铆接的“新科比亚号”(Newcombia)。焊接船虽然比铆接船轻，但是在静态和动态条件下，它能承受和抵抗与后者同样大小的应力。然而，与造船的其他方面相比，船体结构设计的改进一直比期望值要小，主要是由于在20世纪的前半叶，一直采用低碳钢作为基本的材料，没有很大的变化。

31.2 船舶类型

大部分商船可以归入下列几大类：干货船、散装船、油船和客船。

1900—1950年，干货船的设计和发展可以分为两个阶段。前20年保持了原标准，随后则有了迅速而巨大的发展。

19世纪末期造出的第一批铁货船和钢货船，在许多方面很自然地沿用了被它们取代的帆船的设计方法，主要是平甲板式。这批船逐步做了一些改进，中部的船桥扩展到了船侧，抬高后甲板形成艉楼，艏楼增加了高度，这样就产生了“三岛”式船型。

如果露天甲板上建筑物很小，周围的地方就可以用来堆放货物，并由轻型覆盖物保护，船篷甲板或轻甲板型船由此产生。在这些装货区围上钢板并配上量吨开口后，就演变为完全上层结构式。这种遮蔽甲板式船型非常流行，因为量吨开口使上面甲板间的敞开空间不用被计入登记吨位。这种船的强力甲板是遮蔽甲板，干舷高度却是从遮蔽甲板下面的那层甲板开始丈量。



图 31.1 多佛尔港的木帆船和铁壳汽船，1902 年。

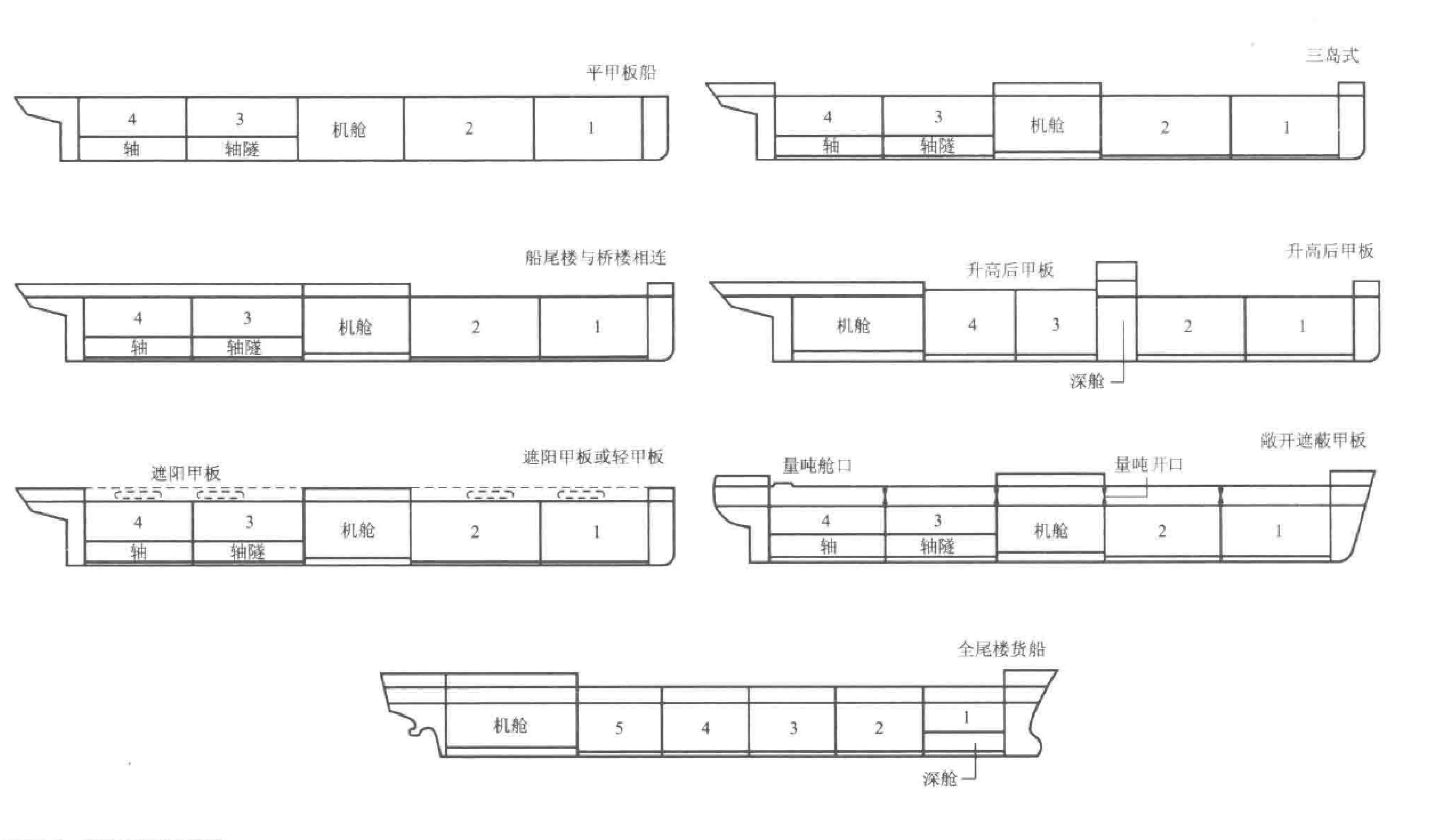


图 31.2　货船的发展情况。

当量吨开口做成永久舱口并完全关闭，上部船壳板和框架的尺寸增加时，干舷甲板就成了最上面的连续甲板，这种船就是全实船。

这两种类型的船，是现代干货船真正的先驱。全实船的优点在于

吃水量更大，因为它有较高的强度，而且露天甲板上开口较少。也许，甲板比旧式船少是大型现代干货船最显著的特征。图 31.2 显示了货船的发展情况。

在第一次世界大战时设计和制造的标准船舶以后，货船的尺寸和速度有了明显的增加。由于速度的增加而必须增加稳定性，早年狭长的船已经让位于船宽与船长之比增大的船。

钢船设计的进一步发展，使得各种类型的货船平均尺寸稳步增长，同时对重量和造价的经济性以及更高的安全性不断提出要求。图 31.3 是各种货船的剖面图。

散装船的发展情况比货船和油船记载得少。但是，最近（指 20 世纪 70 年代）这种类型船舶的尺寸大大增加了。散装船首先在北美

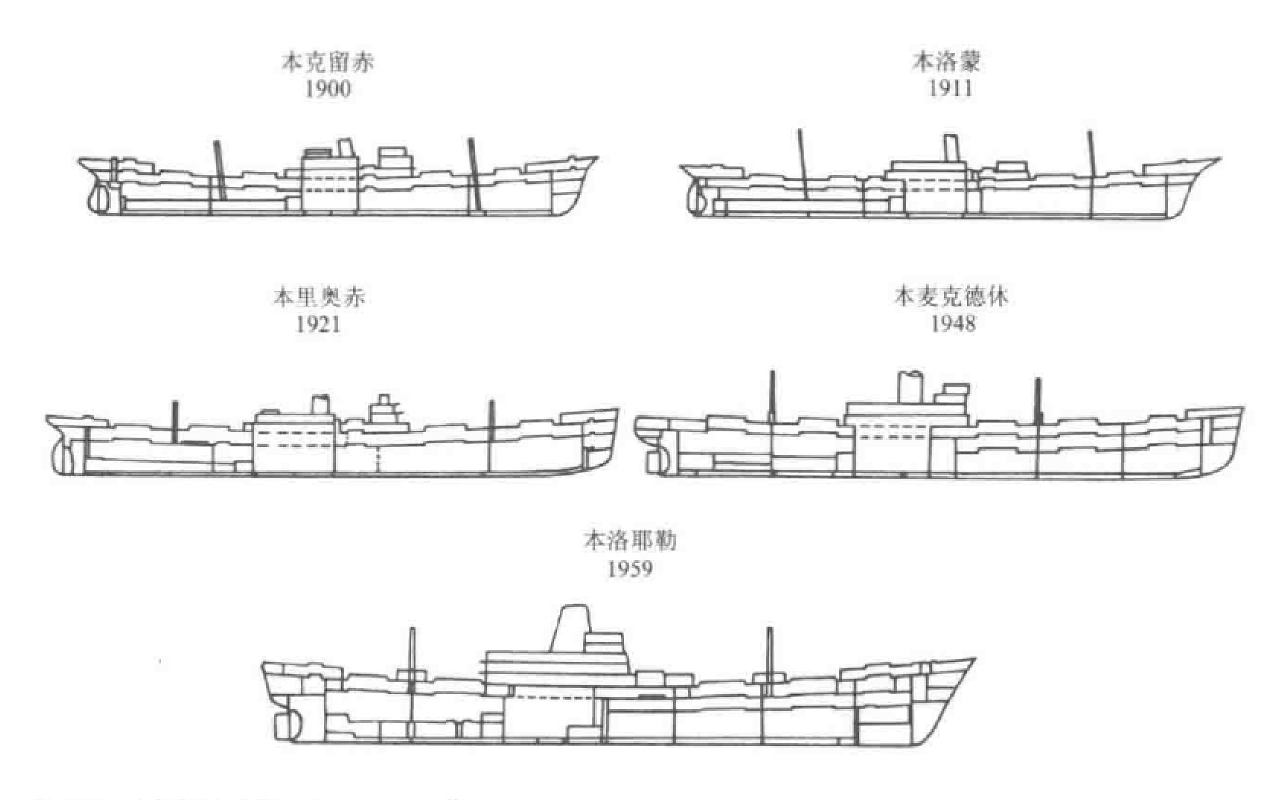


图 31.3　货船剖面图，1900—1959 年。

五大湖地区发展起来，那里在20世纪初就用大型单甲板船运输矿石。1903年，铁矿石首次从纳尔维克（Narvik）运来，当时的铁矿船就已经被设计成具有艉机舱和舷边压载水舱。

早期是用手工卸载货物，但很快就被抓斗机械卸货所取代。1910年，安装了自动装载装置。为了克服普通矿石船只能用来单向运矿石的缺点，研制出了油/矿两用运输船。

散装船的许多特点——例如大舱口、空畅的货舱和甲板以及钢舱口盖，现在都越来越多地应用于干货船。

31.3 油船和班轮

1859年，在宾夕法尼亚州发现了石油，美国石油出口量随后逐渐增加。开始时，主要是把石油装在铁桶、箱子、木桶及类似的小容器里，然后运到帆船上进行出口贸易。这些不断增加的需求，导致了如今人们所熟知的油船的采用。1886年，自重大约3200吨的“格拉考夫号”（Gluckauf）油船在泰恩河建造。从那时起，油船的尺寸和质量一直在进步（图31.4）。图31.5（a）和图31.5（b）显示了美国两艘著名的T.2型油船（1945年造），这种油船共造了480艘。

油船设计发展的特征是单一性，速度/长度比的变化非常小，可

		载重量（吨）	总长度（米）	船宽（米）	吃水（米）
1886	第一艘油船“格拉考夫号”	3200	92	11	5
1918		8000	120	17	7
1930		10000	140	18	8.5
1945	美国T.2型油船	16600	160	21	9
1960		104000	289	41	16.3

图31.4 油船尺寸的增长。



图 31.5（a） 第一艘 T.2 型油轮“葛底斯堡号”（Gettysburg）下水。

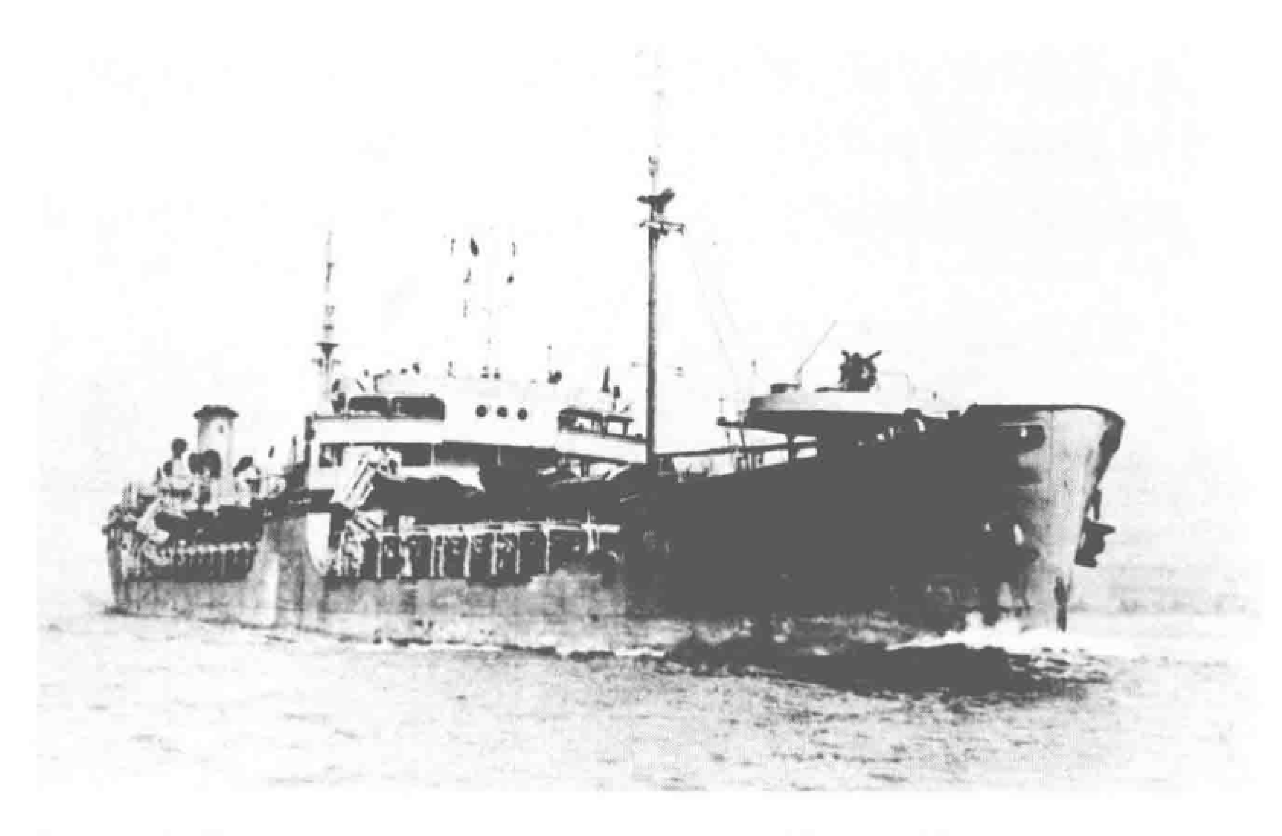


图 31.5（b） 第二次世界大战期间，一艘经过改造用于运输飞机的 T.2 型油轮。

能是因为还缺乏表明高速经济性的正当理由。

很快，油船的结构设计引入了约瑟夫·伊舍伍德爵士（Sir Joseph Isherwood）所创制的纵向框架方式，具有使某些船舱成为永空船舱的能力，使得这类油舱在全长都装载同质货物可以采用更小的尺寸。现在的油船设计中，普遍采取的做法是趋向于把船桥和居住舱室集中在船尾，这种安排从经济、结构和安全的角度考虑都有许多优点。

743

由于尺寸的缘故，直到1900年前夕"大洋号"（Oceanic）建成以前，1858年建造的"大东方号"（Great Eastern）都在客运班船领域占据优势。"大洋号"是第一艘在尺寸上超过"大东方号"的班轮（第V卷，边码361—365）。

用汽轮机直接驱动的班轮"卢西塔尼亚号"（Lusitania）和"毛里塔尼亚号"（Mauretania）开创了一个新纪元，分别从1907年和1909年开始运行。这些船具有维修能力，在一般天气情况下，能够保持24—25节的最小平均航速横渡大西洋。对这个速度的要求，是由在同一国际航线上与德国班轮的激烈竞争所决定的。后来，非常大但慢得多的班轮"奥林匹克号"（Olympic）、"泰坦尼克号"（Titanic）、"不列颠号"（Britannic）和"阿奎塔尼亚号"（Aquitania）相继建造出来。"泰坦尼克号"在1912年沉没，"不列颠号"在1917年被鱼雷击沉。

20世纪30年代初期，吸收了早期班轮的优点，齿轮传动的蒸汽涡轮机船"玛丽皇后号"（Queen Mary）和"伊丽莎白女王号"（Queen Elizabeth）被设计出来，作为横渡大西洋的每周一班的班轮。图31.6为"伊丽莎白女王号"班轮，它在很长的时期内是世界上最大的船。20世纪30年代运行的其他一些著名的轮船中，包括"阿美利加号"（America）（美国）、"萨伏伊公爵号"（Conte Di Savoia）（意大利）、"欧罗巴号"（Europa）（德国）、"曼哈顿号"（Manhattan）（美国）、"诺曼底号"（Normandie）（法国）和"阿卡迪亚号"（Arcadia）（英国）（图31.7）。

744

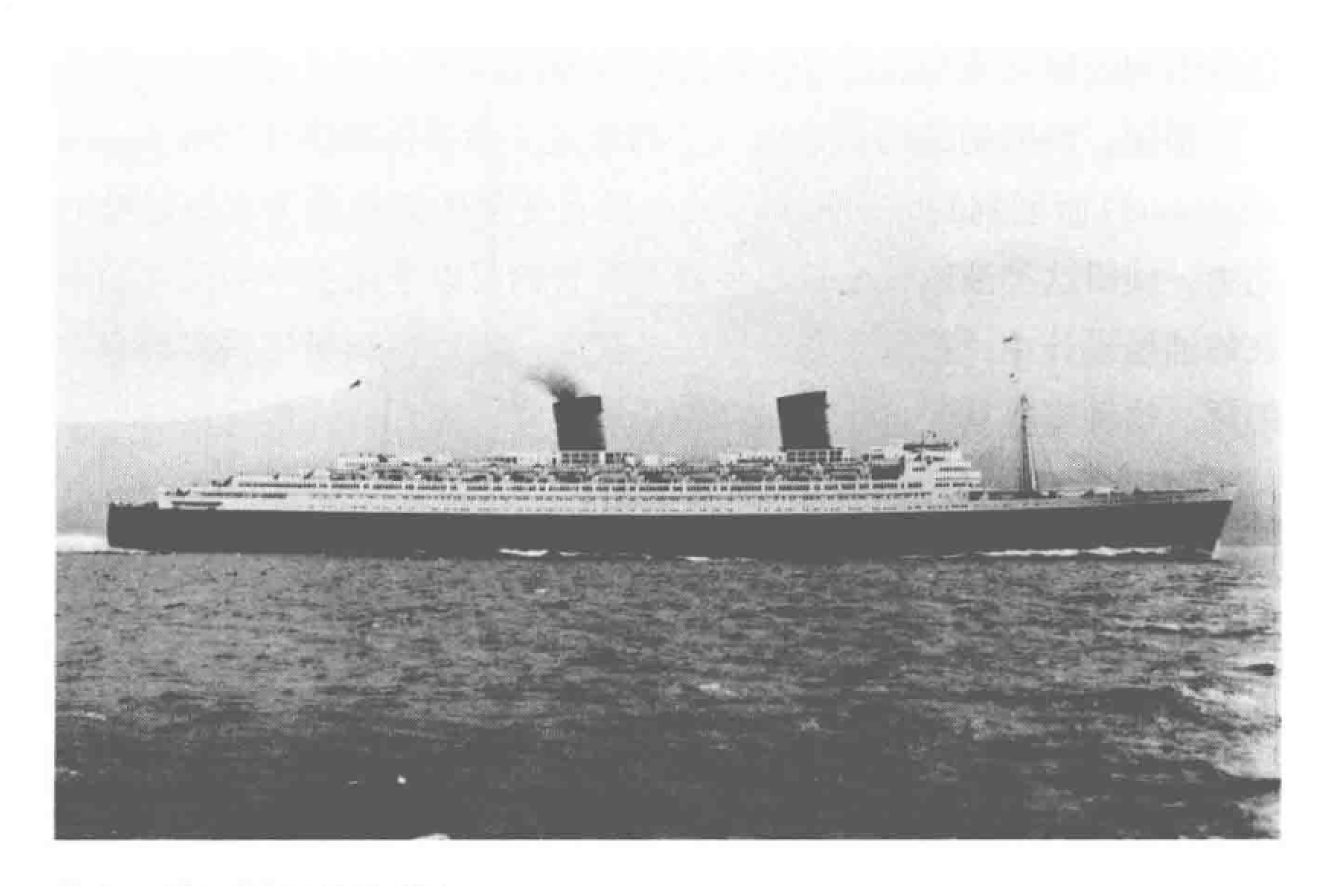


图 31.6 “伊丽莎白女王号”班轮。

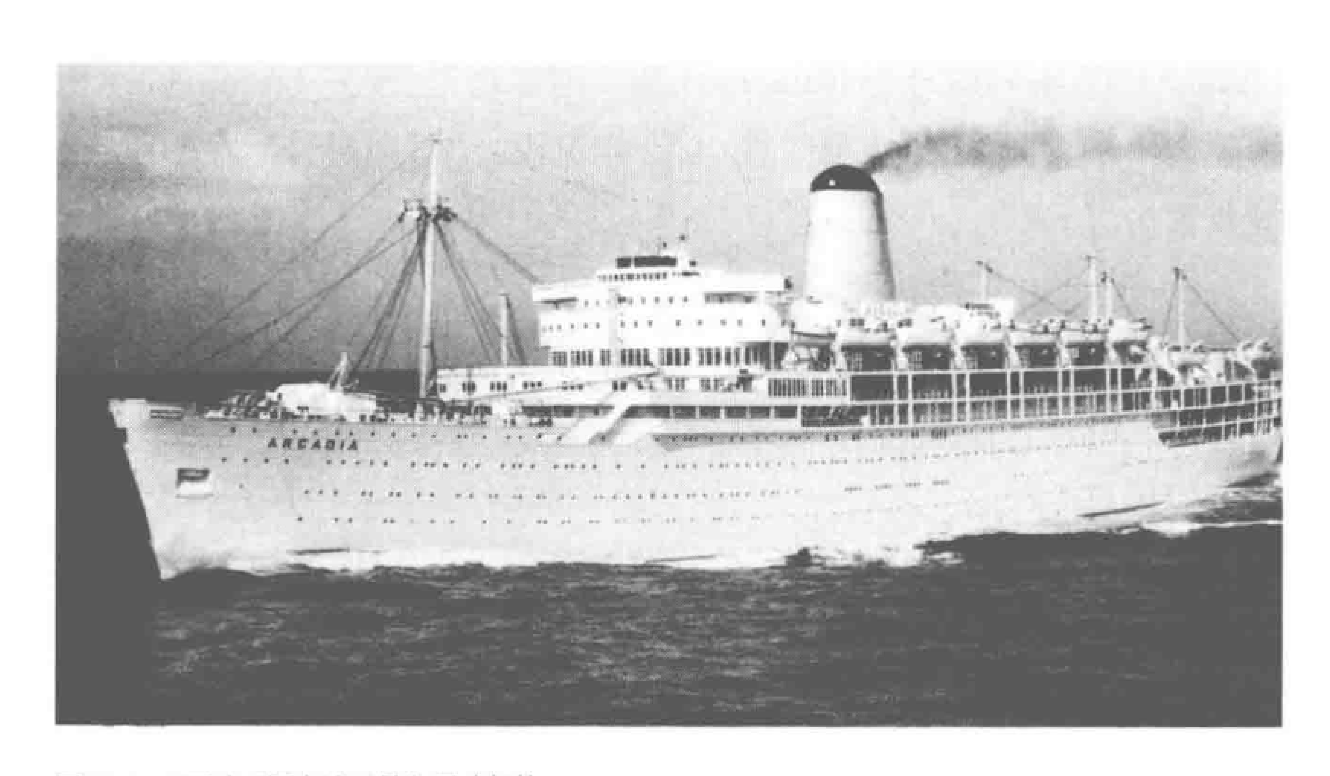


图 31.7 3 万吨“阿卡迪亚号”环球邮轮。

19 世纪客运班轮与 20 世纪客运班轮的显著区别是，早期的轮船没有建立上层结构，这是因为 1894 年的商船航运法规限制了上层甲板装载乘客的人数。1906 年，这一限制被取消，新的班轮立即安装了 2—3 层的上层结构，从而增加了船宽相对于船长的尺寸。装载乘客舱位的增加，使得相对船深也增加了，现代班轮比起它们的前辈不再是那么狭长。最早的上层结构用钢材建造，后来被铝合金取代，因为铝合金能比钢承受较大的应力。

除了已经讨论的船型之外，气垫船和水翼艇进入了短程高速的客运轮渡业务。

1950 年，克里斯托弗·科克雷尔爵士（Sir Christopher Cockrell）设计出第一艘商业气垫船。这种船的发展一直集中在英国，主要有两种类型，分别是带柔性围裙的两栖型船和侧壁型船。侧壁型设计更经济一些，但增加的阻力减小了航行速度。

大约在 1956 年，第一批商业航海水翼艇引入意大利，应用范围十分迅速地扩展到地中海、斯堪的纳维亚、中国香港、日本和南美洲。

745

31.4 船舶的安全

与 19 世纪相比，现在的船舶要安全得多。早年出现事故的原因之一是船的稳定性较差，设计没有建立在科学原理的基础上。如今，人们对影响船舶稳定性的因素了解很多，商船船员的死亡数从 20 世纪头 10 年的 0.14% 下降到 1953—1957 年的 0.03%。此外，失事船只占全部船只吨位的百分比一直在降低，已经从 1900 年的 2% 下降到 1959 年的 0.23%。

一般说来，船舶的安全性与它的干舷有关。干舷越高则储备的浮力越大，遇险时继续浮在水面的机会也越大。1890 年，英国实施《吃水线法规》(*A Load Line Act*)，强制规定海船必须标出吃水线，并且在 1906 年通过了干舷高度的计算方法。

1930 年，“国际吃水线会议”在伦敦举行，一致通过了干舷计算的规定及其勘定条件。这样，历史上第一次有了控制海船载重的国际规章，从而保证了全世界所有船舶和船员具有相同的安全性。

1912 年，“泰坦尼克号”沉没（在这次事故中有 1502 人丧生）。此后，一个委员会被任命并开始研究各种类型船舶的有效分隔舱，考虑提高安全标准的其他方法，它就是 1914 年和 1929 年在伦敦举行的海上人身安全国际会议的前身。1948 年举行的另一次国际会议，对 1929 年会议内容作了必要的修正。所属各分会在条款中考虑了建造的安全问题，包括水密分隔舱和稳定性，以及救生装置及导航。

1913 年的会议建立了基本原则，每艘船必须携带能够载运船上全部人员的救生艇和救生筏。1930 年的会议增加了新的要求，除上述救生艇外，必须装备供船上 25% 的人用的漂浮器具，同时还要求携带一定数量的摩托艇。1948 年的会议决定将管控范围扩大到货船，货船的载客人数不得超过 12 人，否则就被划为客船。在这种情况下，1948 年的会议确定了舱壁的数目和间距。

对于需要安装在普通货船中的横向水密舱壁的数目，政府没有提出要求。但是，船级协会（如劳氏船级社）规定了货船安装的舱壁的最小数目，机舱在船中部的舱壁为 4 个，机舱在船尾的舱壁则为 3 个。货船安装舱壁的数目还要由船的长度决定，船长小于 65 米的为 4 个，船长 165—290 米的为 9 个。

船舶的防火涉及防止火情发生和灭火方法两个方面。第一道防线是尽可能早地发现火情，利用正确及合适的灭火设施制止它发展。如果不成功，需要利用船体结构固有的抗火能力来防止重大灾难。但是，显然要避免发展到这个阶段。

1948 年安全公约的主要关注事项之一是确定防止居住区和服务区失火的标准化方法，以及客货船必备的火情探测和灭火装置，这是 1948 年的安全会议主要考虑的问题之一。三种自动火情探测系统很

快得到应用，分别是热敏、烟测和红外线。

水容易获取，是船上最适宜的灭火剂，使用时可以用手提工具，也可以用固定的设备，例如水管和喷嘴。易燃的液体着火时，最好用二氧化碳泡沫剂来扑灭。电气火灾绝对不能用水来扑救，使用二氧化碳是适宜的。

31.5 研究

船舶和船机设计的研究主要表现为进化式的而不是革命式的，这一趋势掩盖了已经在多个方向取得重大进展的事实。通过对20世纪和50年以后设计的船舶规格与外形的比较，可以很容易看到这一点。

747

在英国，国家物理实验室船舶部以及苏格兰和英格兰私营船模试验池在阻力和推进力研究方面，哈斯拉(Haslar)海军部试验中心在高速型研究方面，都进行了长期而富有成效的工作。在第二次世界大战期间，海军部船舶焊接委员会对焊接进行了系统的研究。1944年，船舶和海洋工程行业成立了英国船舶研究协会(B.S.R.A.)和帕森斯船舶工程涡轮机研究开发协会(PAMETRADA)，这两个组织都由英国政府提供财政和技术资助。

英国船舶研究协会的工作分为3个主要部分，分别是造船学研究、轮机工程研究和生产研究，这是根据巴顿委员会的报告(造船业生产力的工业报告)决定的。最初几年所启动和发展的计划，包括船舶海上航行性能的准确记录，把船模阻力和推进力数据整理为经验公式，主船体梁和上层结构相互作用的测量，新焊接方法的研发，螺旋桨的腐蚀研究，航程测量标准规则的采用，以及球鼻船首的试验。在工程方面，还包括蒸汽管道的应力，螺栓和主轴的疲劳，铝合金的制造，货舱和船员舱的通风装置，以及噪声的隔离。

造船学的发展已经使船舶的整体设计得以改进，尺寸加大，重量

减小。特别是日益增加的船舶阻力知识，使得推进力效率提高，从而带来更快的速度。在过去的上百年中，强度的标准一直没有根本性变化，分舱、最小干舷、静稳性和动稳性及防火等方面的标准却都有很大进步，使船舶更加安全。总之，当尺寸、速度和船体、船机的有效性等在经济考虑的压力下自然增长时，船员的舒适及生命安全由于种种原因也有相应的改进。

31.6 船舶制造

船舶制造是一个从传统手工业扩展起来的工业，现在非常突出地表现为装配工业，大多是一些极普通的工程工作。建造一艘完整的船有三个主要阶段：一是设计、编写说明书和绘图，制订产前计划；二是船体的建造和下水；三是安装和测试。每个阶段所需的组织、工作人员和劳力都是不同的。

748

制造一艘新商船的工序依次包括5个步骤。首先，船主确定对新船的要求。这些要求通常是具体的，至少包括载货的数量和形式、在特定航线上正常条件下的运行速度以及最大吃水。然后，这些要求被送交造船厂或向造船师咨询，他们将准备一个或多个可供选择的设计方案。

设计通过并选定造船厂以后，就要签订合同。随后，造船厂绘制经7个主要船级社（例如劳氏船级社）之一批准的施工图。船舶的建造在船级社检查员的监督下进行，以期获得船体、船机和电气设备相应的等级证书。没有这些证书，实际上不可能有安全保障。在圆满完成海上试验以后（通常持续两三天），船便由船主接收。

造船厂依然有严格遵守合同条款的义务，通常有严厉惩罚条款来惩处违约。

当钢条和钢板进入船厂后，就开始了船体的建造。船厂对这些材料进行检查和校核，如果它们在钢厂没有进行喷丸或喷砂处理，将在

船厂进行这些处理并涂上底漆防锈。接下来，这些钢板和钢条被运进预制车间，在那里被焊接成包括由加强肋加强的船壳平面壁板在内的预制装配件。这些配件组成一个三维的预制部件（图31.8），然后由移动起重机依次吊到船台上就位。船的中段部件通常先放置在船台上，随后是船尾的部件。船尾必须先于船首装配完成，这是因为通常在下水前要安装好推进轴和螺旋桨。这要求大量的结构机械加工，双螺旋桨船也许还要放置“A”字形托架。

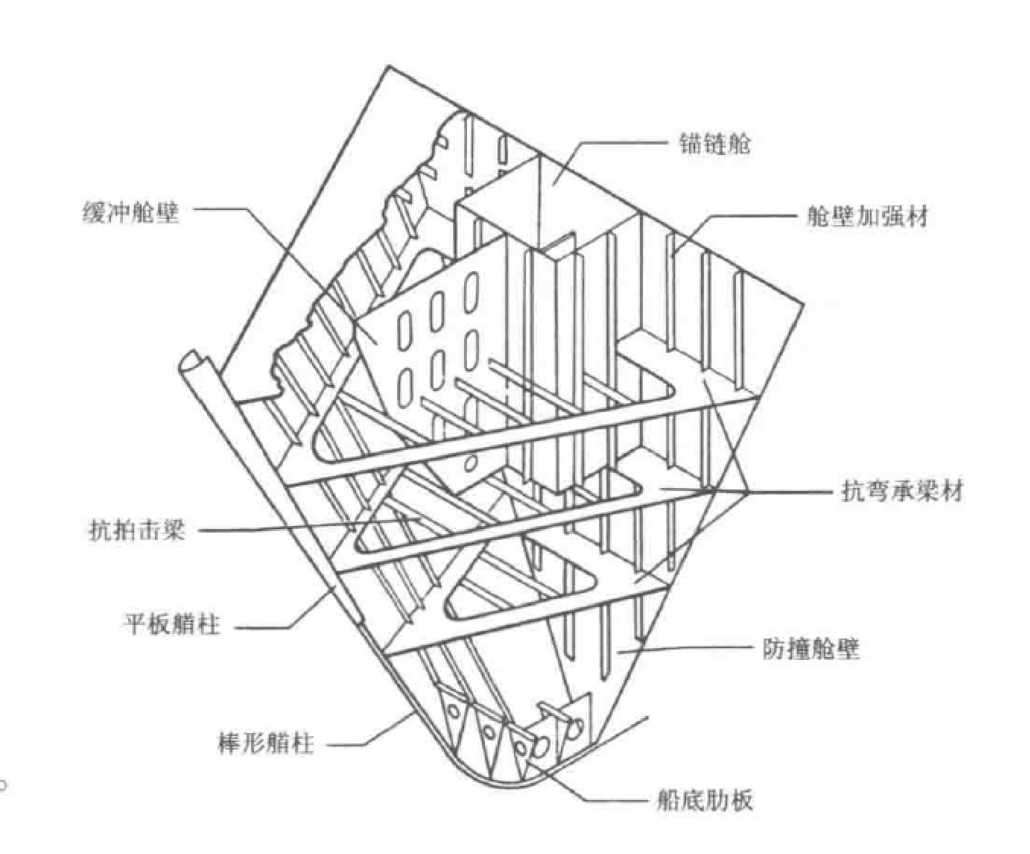


图 31.8　预制船首结构。

在下水前的建造阶段使用的机器，包括提升钢板和钢条的磁力或真空起重机，在整个工厂中运送钢板的运输机，平整扭曲了的钢板的平板整直机，在喷漆前清除表层氧化皮和锈蚀物的喷丸处理设备，在顶部和底部表面同时快速使用特种快干底漆的自动喷漆机械，滚压壳板和折边舱壁的弯曲滚压机，对钢板进行弯曲、拉直、拼接和折边的各种压力机，把钢板剪成小块的剪断机，用机械方法为钢板焊接准备坡口的铲边器，冷弯船舶框架（老式的加热后立即进行弯曲的方法已经不用了）的框架弯曲机，以及制备矩形板或气割板成型的火焰刨床和模具。

现在，大多数大造船厂用手工进行角焊，用埋弧焊机和明弧焊机进行缝焊和对接焊。大约 10% 的熔敷金属由自动或半自动的焊机进行，这一比例还在继续增加。重力式角焊机把焊接材料同时焊在加强肋的两边，以满足对快速焊接不断增长的要求。正在发展中的单面焊接法可以达到全熔深焊接，另一面由铜条或某些耐火背衬材料作保护。

750 船舶是在置于龙骨底下的永久性垫块上建造的。当船准备下水时，整个重量从龙骨墩移到下水支架上，这个支撑着大约为船长 3/4 船体的支架。由三部分组成，一部分是称为前支架的前部构架，紧靠在艏柱后面的船体上，一部分称为艉支架，位于舵柱前面或龙骨弯起部分的构架上，还有一部分处于上述两部分之间。在英国，支架安放在平行于船中线的两条“滑道”上，中间的距离大约为船宽的 1/3。船将要下水时，在滑动船架和固定滑道之间加入润滑剂。实际的下水过程中，船架和船舶向下滑过滑道，直到船舶全部滑到水上。

在一些造船厂，尤其是五大湖地区的船厂，由于下水场地的局限，往往采用横向下水。船舶在船首船尾处的同一水平上建造，滑道的终点常常以一个相应的大横倾角进入水中。在许多大的现代化造船厂，造好的船只从所建造的船坞里浮出来，而不是以传统的方式下水。

下水以后，接着就是安装过程。这一过程里，要在机舱中安装主机、柴油发电机组、压缩机、泵、管道、阀等，并且安装完成上层结构、甲板舱室、桅室、驾驶台等，还要给居住舱和生活舱装上全部服务设施，包括管道、电线和通风装置等。现在的趋势是在下水以前尽可能多地安装船上的设备。商船的安装过程大约占整个造船周期的 1/3，战舰大约占 2/3。

铆接船在 20 世纪的前 30 年占有统治地位，先是手工铆接让位于液压铆接，后者接着又被气动铆接所替代。

船厂需要众多的船台。在船台上，一块块钢板安在固定于龙骨的

框架上，整个外壳被做成流线型，用螺栓固定钢板，然后进行铆接和捻缝。因此，船台配备有许多轻型的转臂起重机，起重能力大多不超过5吨。在船台前部的工棚中，进行冲孔、铲边、弯板和备料工作。

751

确保船体各段均匀性和连续性的整形工作，是通过在放样间的地板上画出全尺度的船体图来解决的。在现代化船厂中，这一工序逐步让位于1/10比例的放样，这样可以很容易地获得全尺度的线条。这些线条或是描到划线板上用来确定船体框架的形状，或是做成模板为制备钢板提供信息。

船体结构完成以后，要进行锤击试验检验坚固度，还要在货舱和隔舱中进行注水试验检验水密性。

第一次世界大战期间，大规模建造标准设计的船舶首次成为可能，并在英国和其他地方实现了预制的方法。商船建造咨询委员会（成立于1916年）制订了一个广泛的造船计划，以期建造一种尽可能简易设计的具有标准型船体、发动机和设备的船舶。

在英国得到的主要经验是，标准设计的船舶及发动机可以成功地进行大规模生产，这种生产也是国家作战能力的一个基本组成部分。人们同时还认识到，造船厂在土木工程业的协助下预制船体是必要的。

第一次世界大战以前、大战期间和战争刚结束时，英国船厂的生产能力用当时的标准来衡量是较高的，领先于美国和其他船舶制造竞争国。这使英国在船舶建造方面处于技术领先的地位，也部分说明了英国作为船舶拥有国至高无上的地位。

第一次世界大战以后，英国船主有4个替代战争期间损失船只的来源，其中包括英国政府建造的标准船及没收的德国船只。在20世纪20年代至20世纪30年代，英国航运业背上了大量的战前船舶这个包袱，保留这些船舶对英国造船工业是极大的不幸。

第二次世界大战以前的一段时期，在国家公开或隐蔽的资助下，德国、荷兰、瑞典和日本等国增加了船舶建造量。英国则停滞不前，在世界造船市场所占比例不断下跌，从1912年的60%下降到1939年的50%。1939年，甚至只有海军这个大订户完全利用英国船厂建造船只。英国船厂的开工率很低，20%的生产能力得不到利用。

英国船厂的萧条被归咎于劳动力紧张和工资过高。虽然通过压缩

752

生产能力找到了一个解决办法，但真正需要的是更现代化的船厂、更多现代船舶的订单，以及新的工作方法。20世纪30年代初期，世界经济萧条导致了对造船业前途的悲观失望，这个行业的失业率在1933年上升到63%。

与人们所认为的（并且显然是正常的）萧条和繁荣交替出现的情况不同，造船业存在着持续萧条的局面。1930年，为了应付这种局面，英国国家造船安全有限公司（N.S.S.）成立，试图缩减过剩的船厂。但是，N.S.S.在造船工业中的作用与干预，实际上并不具有历史上人们所认为的那种重要性。尽管如此，英国船厂在20世纪30年代的经历还是留下了影响，对过剩生产能力和过分膨胀的恐惧一直没有完全消除。

对造船厂来说，大型客运班轮的建造在两次大战期间达到了顶峰。1922年的《华盛顿条约》限定了军舰［包括战列舰（图31.9）、航空母舰、巡洋舰、驱逐舰和潜水艇］的建造计划，油船构成了造船需要的重要部分，普通的不定期货轮则占了产量的绝大部分，另外，也需要专门化的船只、集装箱船、客轮以及运煤船、近海船、拖网渔轮、拖轮和其他小船。

753

两次世界大战中，都必须高速建造大量商船以代替被敌人击沉的船只，同时也要为世界范围内的军事行动所增加的海上运输提供船只，还必须建造各种类型的军舰去保卫商船，并与敌舰作战。

第二次世界大战期间，同盟国决定集中精力制造海军舰艇和军需运输的特殊类型船只。机器和设备达到了高度标准化，有效推动和加



图 31.9　英国皇家海军"胡德号"（Hood）——排水量 4.1 万吨的战列巡洋舰，建于 1923 年。1941 年 5 月被德国"俾斯麦号"（Bismark）战列舰击沉。

快了生产。1942 年和 1943 年，美国船厂下水的货船和油船达 2700 万吨，14 个船厂还交付了 1238 艘自由轮。

产生如此惊人生产率的技术因素，一方面是广泛采用焊接技术（焊接技术被接受还因为对新招募的劳力进行焊接训练比铆接训练更容易），另一方面是在船台上预装配组合技术的发展。此前，预装配件为 10 吨，后来达到 200 吨。装配架的使用保证了预装配件的良好组合，还使手工俯焊技术得到最大应用。此外，还按照详细的完整时间表对材料和设备从厂房到船台的运输进行了控制。图 31.10 是在新船厂中建造每艘船的工时数和建造标准船所获得的优势。

低碳钢板的电弧焊代替了铆接，成为造船业中结构成形的主要方式。它的主要优点是大大节省了钢材的重量，提高了施工的经济性，扩大了预装配的潜力，改善了强度的连续性，拥有更大的设计自由度，以及无须捻缝便能保证水密性。当然，焊缝的有效性取决于焊工及

754

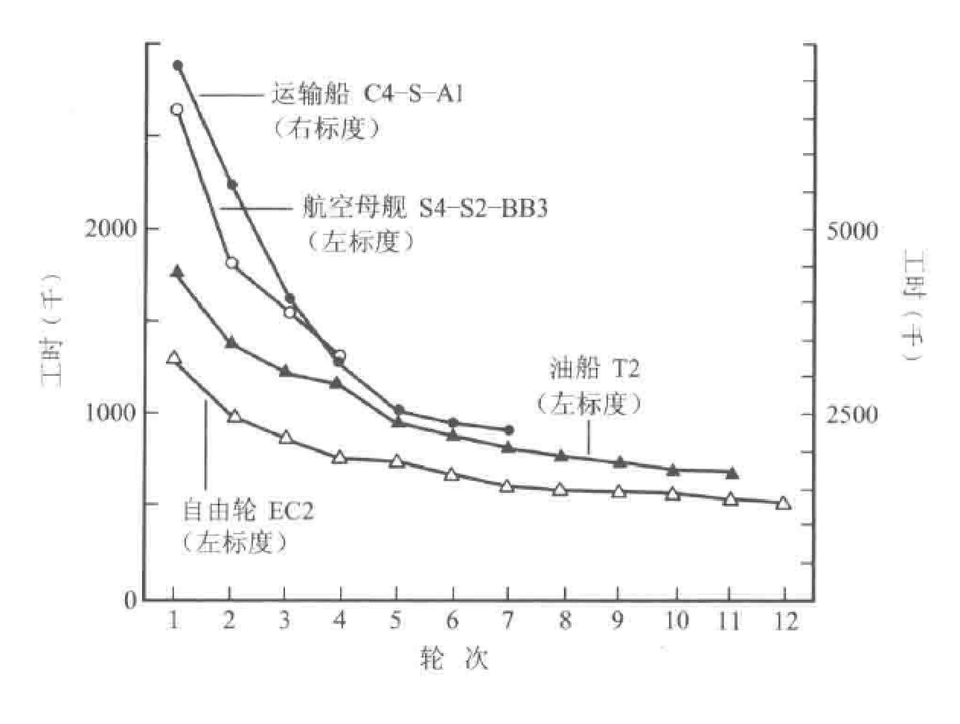


图 31.10 美国新船厂造每艘船的工时。它显示了造标准船（如 T2 油船、自由轮等）工时的减少。

其操作的部位。快速加热和冷却会使钢板变形，并且由于收缩而产生残余应力。但是，如果结构准备得当，遵循正确的焊接顺序，这些缺点都可以减到最低程度。X 射线和 γ 射线技术被用来检测焊缝，但目前这些技术一般限于对接焊缝。由于早期的焊缝往往会变脆，20 世纪 30 年代的人们不相信焊接结构，船主对焊接船迟迟不愿接受。

由于两件互不相关的事情，促进了人们对焊接的认可，一是涂料电焊条的发展，二是《伦敦海军条约》刺激了各国建造尽可能轻的军舰。为了减轻重量，焊接被广泛采用。这就要求训练许多焊接工人，这些技能和技术逐渐从军舰建造领域扩展到商船建造领域。

第二次世界大战中，美国在建造自由轮和胜利轮时广泛采用了焊接技术，这表明焊接船在各种造船方法里总的来说是成功的。由于焊接船有更轻、更光滑的船体，比较节省动力，这使得焊接技术更进一步被船主所接受。

毫无疑问，第二次世界大战前的英国船厂的装备，一般比欧洲大陆船厂的装备要好。战后，这种位置颠倒了，许多著名的现代化欧洲大陆船厂的装备比英国大多数船厂要好得多。

大多数船厂的现代化和改建计划分为三个明显阶段，第一步是替

换损坏的常规设备，第二步是引入现代焊接设备和技术，第三步是改变布局以满足船舶尺寸增大的趋势。特别是超大型油轮的建造，使人们详尽比较了造船船坞和船台滑道的优点。造船船坞的主要优点是取消了昂贵的下水准备以及所有与其相关的工作，这种方法逐渐取得优先地位。

传统的造船国家建了许多新船厂，一些对造船工业缺少经验或毫无了解的国家也建了不少新船厂。在英国，现有船厂的现代化吸引了人们的注意力，几乎没有时间来认真考虑新船厂的建设。在西欧，特别是在斯堪的纳维亚半岛国家，全新船厂由久负盛名的成功公司建立。图 31.11 是挪威阿伦达尔的哥德弗肯（Gotaverken）新船厂的布置图。这家船厂采用了造船传送带系统，制造好的部件（每件重达 300 吨）被依次从制造车间沿建造船坞传送，立即装到先前刚安装好的船体部件上。

755

任何一个新船厂都可以建造和容纳 10 万吨载重量的油船，它们的布局对于快速建造合理的标准型船舶是理想的。如果把重复生产较少数量的特种标准船也作为目标，这些新船厂无疑具有竞争优势。

756

船舶结构设计的发展一直受到三个条件的影响，即消除内部障碍物以便给装载和搬运货物留出大的空货舱，通过材料最有效的分布以减小船的重量，以及确保船体强度以承受海洋的作用力。

船舶，特别是货船，通过在甲板下使用密集的横向与水平桁架的办法，代替广为设置的货舱立柱，达到消除内部障碍物的目的。由于船上增加了使用焊接的部分，减少了钢材的重量，船舶结构的性能有所提高。现在已经普遍认识到，货船船底和甲板的纵向构架取代横向构架具有的优势。在设计方法上，分别计算波浪弯矩和静水弯矩。两项相加给出了船舶将承受的总弯矩，从而使设计与建造的结构有足够的安全系数。

我们所考察的这一时期，船舶制造和海洋工程行业仍然使用低碳

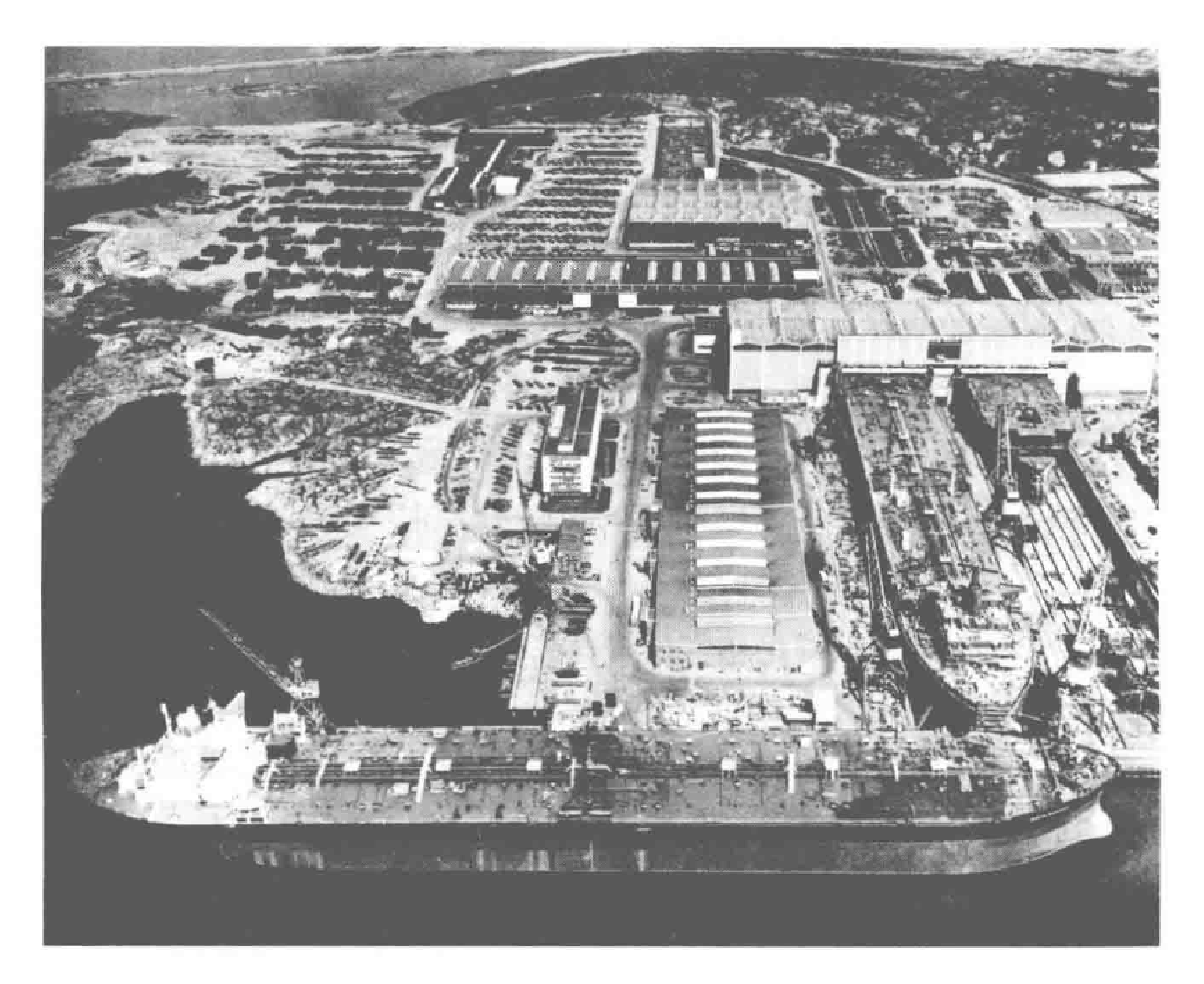


图 31.11 挪威阿伦达尔的哥德弗肯新船厂。

钢、黄铜和木材等传统材料。随着更加高速的大型船舶投入运行，人们对各种新材料的使用进行了精心研究。在 20 世纪 50 年代，使用较高抗拉强度的钢材有利于减小船壳材料尺寸的优点，成为考察的重要内容。当然，对于由此增加的挠曲和振动的影响问题、切口的韧性问题、疲劳问题、焊接和装配问题，在做出经济和技术改变之前都需要进行仔细估算。

内部结构和上层结构越来越多地使用轻质合金。作为坚固、吸音的廉价材料，泡沫层压板或树脂基的材料已经被开发应用于舱壁和隔板。通过使用防滑和防腐蚀的塑料铺面板，以及使用塑料预制管道等办法来减轻船体重量，同样具有了可能性。

在减轻重量的同时，提高强度、寿命和可靠性，这是材料工程师最

关注的问题。事实上，经济上的节约多半也来自维修和检验费用的降低。

造船材料从木材到铁再到钢材以及推进方法的变化，造成了经营结构的改变。起初，大多数船厂要制造和修理自己的蒸汽机，因而需要一个职能和管理上独立于造船厂的工程部门。后来，随着船体从铆接到焊接，从板拼装配到预制大块部件的变化，绘图室的工作更重要了，变成整个生产环节的第一道工序。 757

为了确保按时把成千上万个部件装配到船上，需要精心制订计划。最困难的阶段是合同的开始阶段和工程的结束阶段，需要造船厂、船厂内部的分包人和船厂外部设备提供者之间紧密合作。由于船厂的规模扩大及其所建造的船舶变得更大、更复杂，必须设立销售和估价部门以便销售船只。对于船厂而言，管理、维修、保卫和安全措施也是必需的。为了帮助提高销售量，通常还增加了专门的设计人员以及市场销售和研究人员。随着技术职能的增加，行政管理的职能也增加了，包括人事、采购、法律、秘书和投资部门。

20世纪前半叶，世界造船史的大部分内容是英国造船史，这是由于它所占据的主导地位。图31.12和图31.13是每年英国造船吨位占全世界总吨位的百分比。只是在1950年以后，日本、瑞典和挪威等其他国家在产量上迅速和持续增长，才使英国船厂相对不变的年产量占世界总量的百分比不断下降。

31.7 推进装置

758

三胀式蒸汽机（第Ⅳ卷，边码149）在1880年开始使用，到1890年得以完善。钢锅炉的采用以及它与三胀式蒸汽机结合，使工作压力升到大约150磅/平方英寸。战争期间，往复式发动机的外形没有多大变化。当采用再热系统的时候，从各方面明显地改进了蒸汽机的性能，三胀式蒸汽机达到发展的最高阶段。

1897年，汽轮机（第41章）用于“透平尼亚号”（Turbinia）轮船

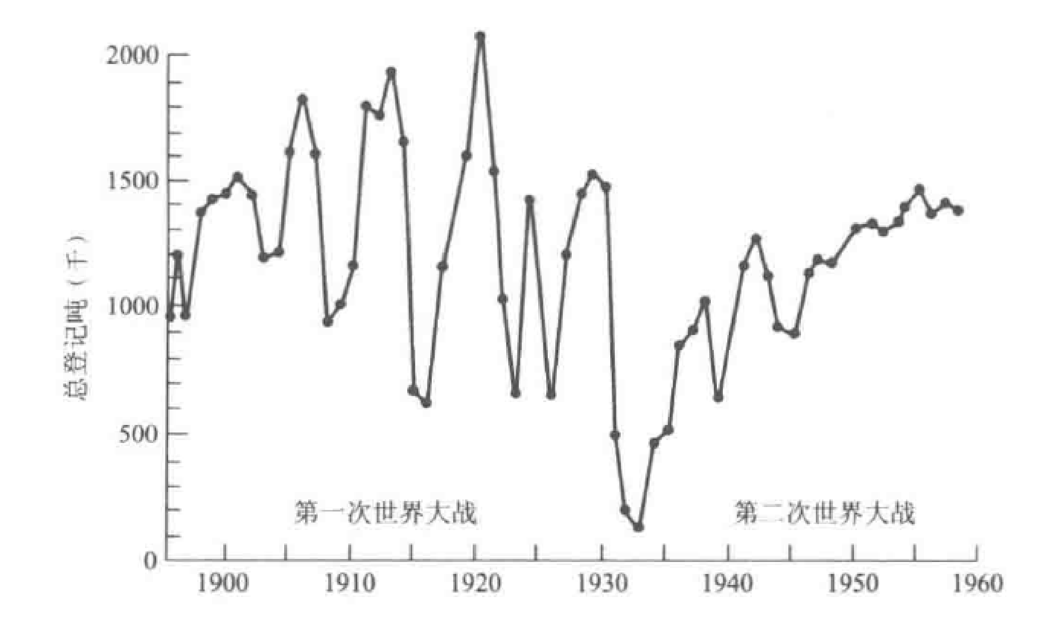


图 31.12　1920 年，英国造船总产量第一次，也是最后一次超过 200 万总吨。

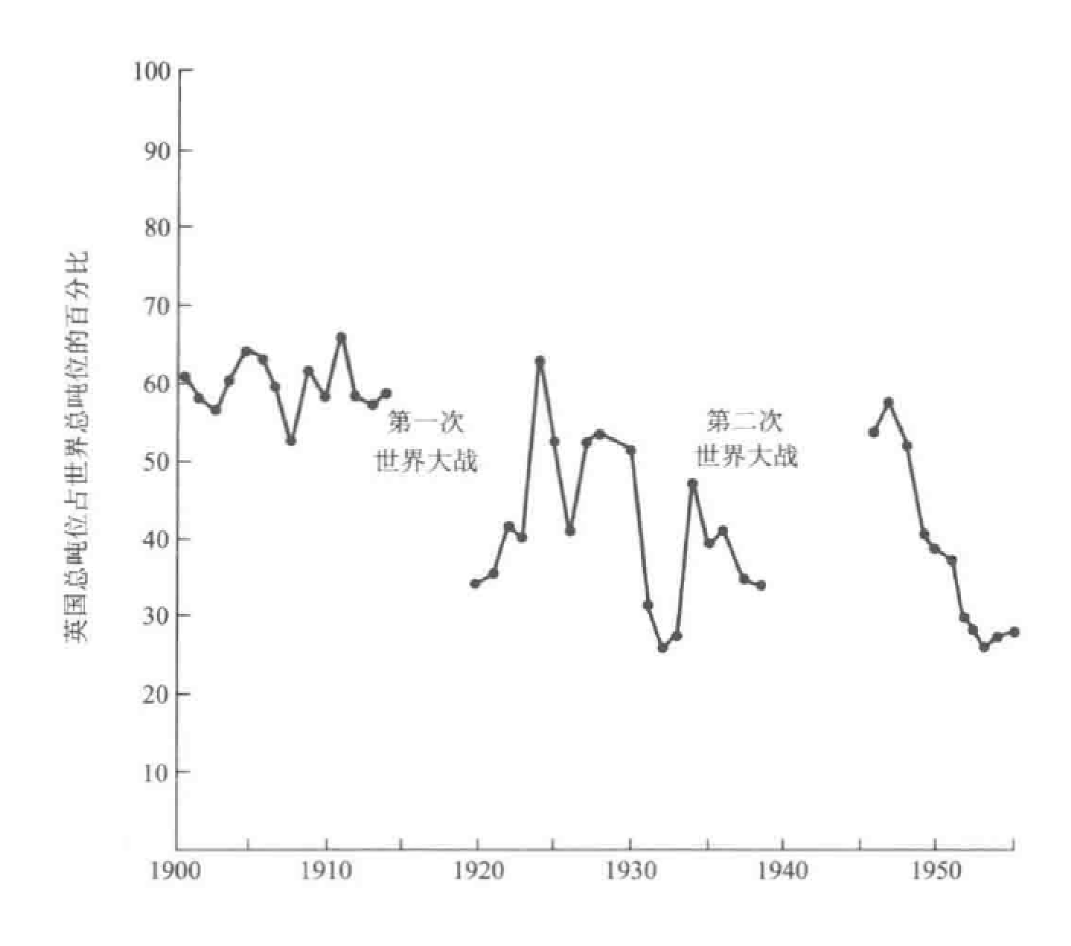


图 31.13　英国下水船（总吨位）在世界总数中的百分比。

后崭露头角，到1910年前后被普遍用于军舰。汽轮机具有高的功率-重量比和功率-体积比，比往复式发动机噪声小，引起的振动也小。但是，它也有缺点，在巡航速度方面不够经济，不能反向运行。为了获得往复式发动机同样的可靠性标准，还需要高标准的质量控制。汽轮机比相同功率的内燃机要贵得多，燃料消耗也要高出20%。如果运行成本能减少的话，许多船主还是喜欢汽轮机，因为它运行平稳，操作简便，保养费用较低。

759

然而，除了军舰和大型客运班轮以外，改用汽轮机的进程是缓慢的。第一艘横渡大西洋的“弗吉尼亚号”(Virgina)蒸汽轮机船在1904年使用，随后是“阿奎塔尼亚号”“卢西塔尼亚号”和“毛里塔尼亚号”。1909年，带减速装置的汽轮机首先安装在“维斯帕西安号”(Vespasian)货轮上，随后装在“科罗尼亚号”(Coronia)和“弗兰克尼亚号”(Franconia)客轮上。

第二次世界大战以前，除了美国以外，在将汽轮机引入货船方面并没有多大进展。但是，汽轮机的应用范围从那时起扩展到小船。最近（指20世纪70年代），汽轮机已经用于一些大型集装箱船，因为它们要求高功率(超过3万轴马力)。

船用推进器的根本变化是由于采用石油作为燃料而引起的，在首次把煤替换掉以后，狄塞尔(Rudolph Diesel)在1897年发明了柴油发动机(第V卷，边码163)。除英国以外，大多数欧洲国家快速采用和发展这种发动机，使得船用推进器的变化加速。实际上，重油发动机的新纪元始于1912年的英国，当时“斯兰迪亚号”(Selandia)船安装了两台单动的四冲程发动机。在20世纪20年代，双动的四冲程发动机居主导地位，但目前慢速发动机普遍使用二冲程，中高速的发动机则使用四冲程。在大多数类型的商船中，110—150转/分的慢速船用柴油发动机是处于统治地位的推进器。

船用柴油发动机的三个突出发展(其中两个从第二次世界大战起

已采用）如下：第一，固体燃料喷射法在20世纪30年代替代了鼓风送气喷射，从而导致了单位油耗的减少。第二，应用廉价的容易得到的重油替代柴油。第三，涡轮增压器的引入使发动机的每一个汽缸都能使用更多的氧气和燃料，功率输出增加多达50%，现在每个汽缸输出可达2000轴马力。

在1900—1950年间，船用发动机效率的提高最好用燃料消耗的减少来描述。在这个前提下，1950年重油发动机的效率大约4倍于

760

1900年的三胀发动机和锅炉（图31.14）。

货船的总推进效率用准推进系数（QPC）来表述，从1900年的0.50左右增加到1950年的0.80左右。另外，柴油机（通用的）每小时燃料消耗从每轴马力3磅煤减少到每制动马力0.4磅油，即从大约3.7万英制热单位减少到8000英制热单位。把阻力和推进力两方面的改进一起考虑，这意味着轮船的推进总效率在50年间提高了大约8倍。1950年，全世界的商船按总吨位计算大约30%是由柴油机驱动的。

在战舰上的蒸汽轮机和柴油机，现在几乎毫无例外地逐渐被燃气轮机所取代，只在极少数战舰中使用核动力机。燃气轮机系统消除了把蒸汽作为转换介质的要求，在船舶应用中缓慢地发展起来。1947年，第一艘燃气轮机驱动的“MGB 2009号”军舰下海，正好是革命性的蒸汽轮机安装在“透平尼亚号”船50年

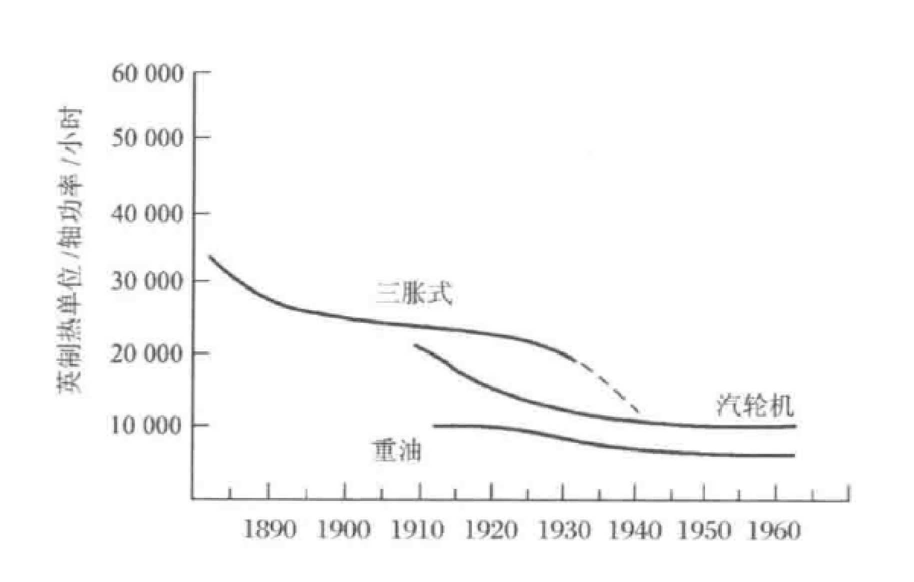


图31.14 轮机的热效率。

以后，这两艘船都具有 34 节船速。第一艘远洋商船“约翰·萨金特号”（John Sergeant）采用了单机组机械驱动的燃气轮机，这种轮机在 1956 年由自由轮机改装而成。这些新型发动机的热效率不如重油发动机，但是通过多机组可以提供一种“通过替换来进行修理”的方法，这一优点可能会抵过上述缺点。

761 **参考书目**

Baxter, B. Comparison of welded and riveted ship construction. *Engineering*, 22 July 1955.

——. *Qualifications for shipbuilding.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1971.

Beer, W. *Analysis of world merchant ship losses.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1969.

Daniel, G. *International Conference on Safety of Life at Sea, 1948.* Institution of Naval Architects, London. 1949.

Eyres, D. *Ship construction.* Heinemann, London. 1972.

Hurst, R. *Ship research.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1964.

——. *Towards a technology of shipbuilding.* North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1966–1967.

Lenaghan, J. *Present trends in the shipbuilding inbustry.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1962.

Mitchell, W., and Sawyer, L. *Empire ships of World War II.* Journal of Commerce, Liverpool. 1965.

—— ——. *British standard ships of World War I.* Journal of Commerce, Liverpool. 1968.

Murray, J. M. *Merchant ships 1860–1960.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1960.

Nash, P., and Ashron, L. *Research in fire fighting and fire protection in ships.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1965.

Palmer, S. *The impact of the gas turbine on the design of major surface warships.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1973.

Parkinson, J. R. *The economics of shipbuilding.* Cambridge University Press. 1960.

Shepheard, R. *The challenge of our marine environment.* North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1968–1969.

Smith, D. *The 1966 International Conference on Load Lines.* Royal Institution of Naval Architects, London. 1969.

Sturmey, S. *British shipping and world competition.* Athlone Press, London. 1962.

Tatton-Brown, P. *Main propulsion gas turbines in the R.N.* North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1970.

Walton, T. and Baxter, B. *Know your own ship.* Griffin, London. 1970.

第32章 铁 路

O. S. 诺克（O. S. NOCK）

32.1 机车和运输车辆

762

蒸汽机车 20世纪初，全世界的铁路几乎都以蒸汽机为原动力。早在1829年，斯蒂芬森（Stephenson）制造出“火箭号”（Rocket）机车，对机车锅炉炉腔作了重大改进，加砌了砖拱，使煤块能够有效地燃烧，不再需要用焦炭作燃料。19世纪后期，尽管人们多次试图摆脱斯蒂芬森的这一基本设计原理，这种最简单的原始形式却一直在流行着（第V卷，第15章）。人们对蒸汽的两级膨胀即复式膨胀进行了不少试验，除了法国的德格伦（Alfred de Glehn）和格尔斯多夫（Karl Gölsdorf）的工作外，其他的试验成果都是昙花一现。20世纪初期，普鲁士工程师施密特（Wilhelm Schmidt）对蒸汽机的进步做出了杰出贡献，研制出使蒸汽过热且高于其生成温度的方法，消除了蒸汽雾化的缺点，还增大了所产生的蒸汽量。虽然施密特的方法在欧洲大陆得到广泛应用，但它最惊人的成功却出现在英国的伦敦和西北铁路公司。那里采用了由库克（C. J. Bowen Cooke）设计的装有施密特过热炉的机车，燃料消耗比同类型的非过热炉机车节省27%（图32.1）。这是蒸汽机车全部历史中的最大进步之一。

由于运输量的增加需要更大更重的机车，加大了的车轴载荷，提高轨道和路基的性能成为十分迫切的问题。20世纪初，荷兰必须铺

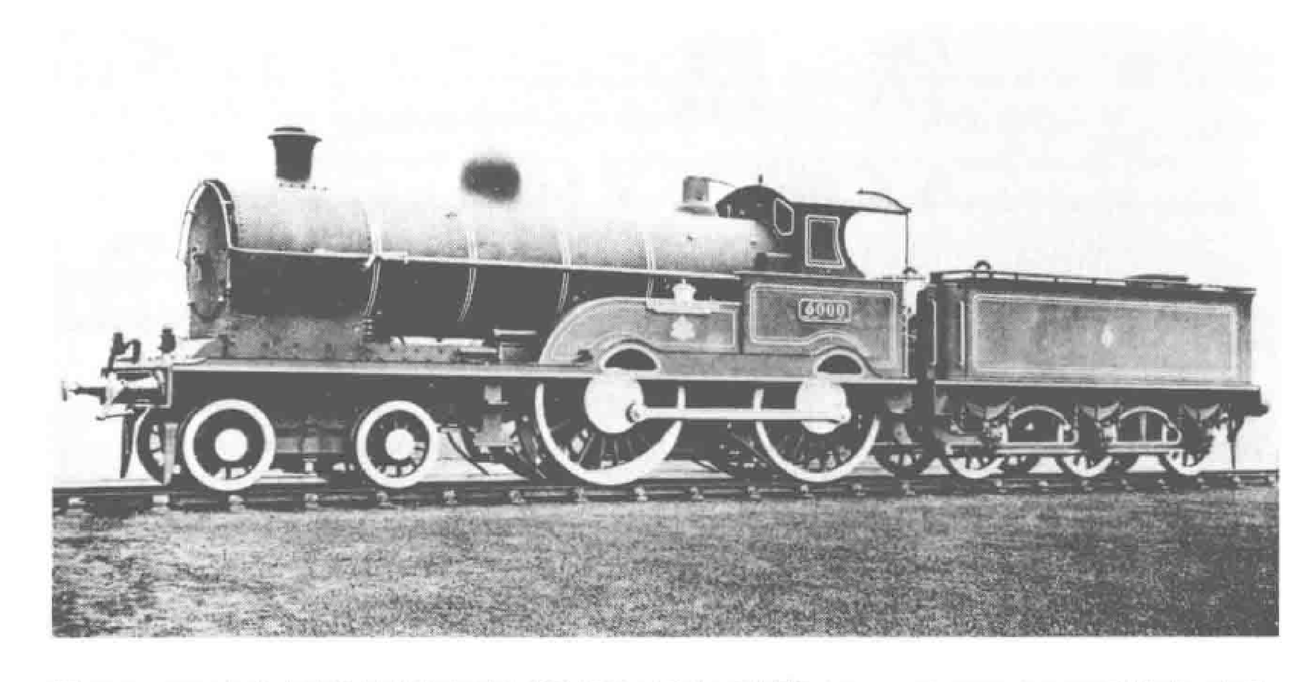


图 32.1 1910 年由库克设计的装有过热蒸汽机的“乔治五世号”(George the Fifth)4-4-0 型机车，它是1911 年伦敦和西北铁路公司的“加冕典礼”型机车的样车。

设铁路的大部分地区地面松软，这个问题变得很尖锐。为了保证机车本身的平稳运行，伦敦大学的工程学教授多尔比(W. E. Dalby)等人提出了使旋转部件和往复运动部件平衡的技术。然而，为了保证平稳运行而加在车轮上的平衡锤，在许多情况下都会使车轴净载荷产生一种“锤击”效应。在某些带有两个内侧汽缸的最简单形式的机车中，这一动态增量可以达到净载荷的 50%。不过通过使用 4 个汽缸驱动同一轴的办法，可以全部消除“锤击”效应。由于采用了这个方法，荷兰土木工程师能够接受比以前两汽缸型机车轴载荷更大的机车。对于机车工程师和土木工程师而言，设计上的合作仅仅是一个开端。在英国，直到 20 世纪 20 年代桥梁应力委员会(Bridge Stress Committee)成立之后，这一合作才开始呈现绚丽多彩的景象。

763

采用具有更大流动性的过热蒸汽，以及用活塞阀取代传统的老式滑阀对汽缸进行蒸汽分配，大大改进了汽缸性能并加快了它的运转。但是，最显著的间接发展之一是阀动装置的设计。德格伦的四汽缸复式机车在法国的成功，引起了全世界的关注。丘奇沃德(G. J.

Churchward）安排英国大西部铁路公司购买了3部法国制造的“大西洋号”（Atlantic）火车头用作试验。然后，丘奇沃德着手设计单胀式蒸汽机车，这种机车具有与法国复胀式机车同等的热效率，同时避免了法国机车繁杂的机械设计和操作。斯蒂芬森的连杆运动仍然是阀动装置最简单的形式之一，丘奇沃德改进了这种装置布局，从而具有更佳的进汽和排汽口开度。其中，加长阀门行程的改进最初没有得到其他工程师的赞成，因为他们担心会产生过度磨耗。但是，采用丘奇沃德在斯温登研制的长行程阀门，一个简单蒸汽机的效率超过了复杂得多的法国复胀式机车。

764

765

当时还是锅炉设计大发展的时期。蒸汽压力增加，可以提供更大的功率，但必须对若干方面进行改进，包括避免板结构中的急剧弯曲和尖角以防止应力高度集中，研究水的循环以及空气流动和快速汽化所要求的形状，解决驱动轮和从动轮数目增加造成的重量增加问题。

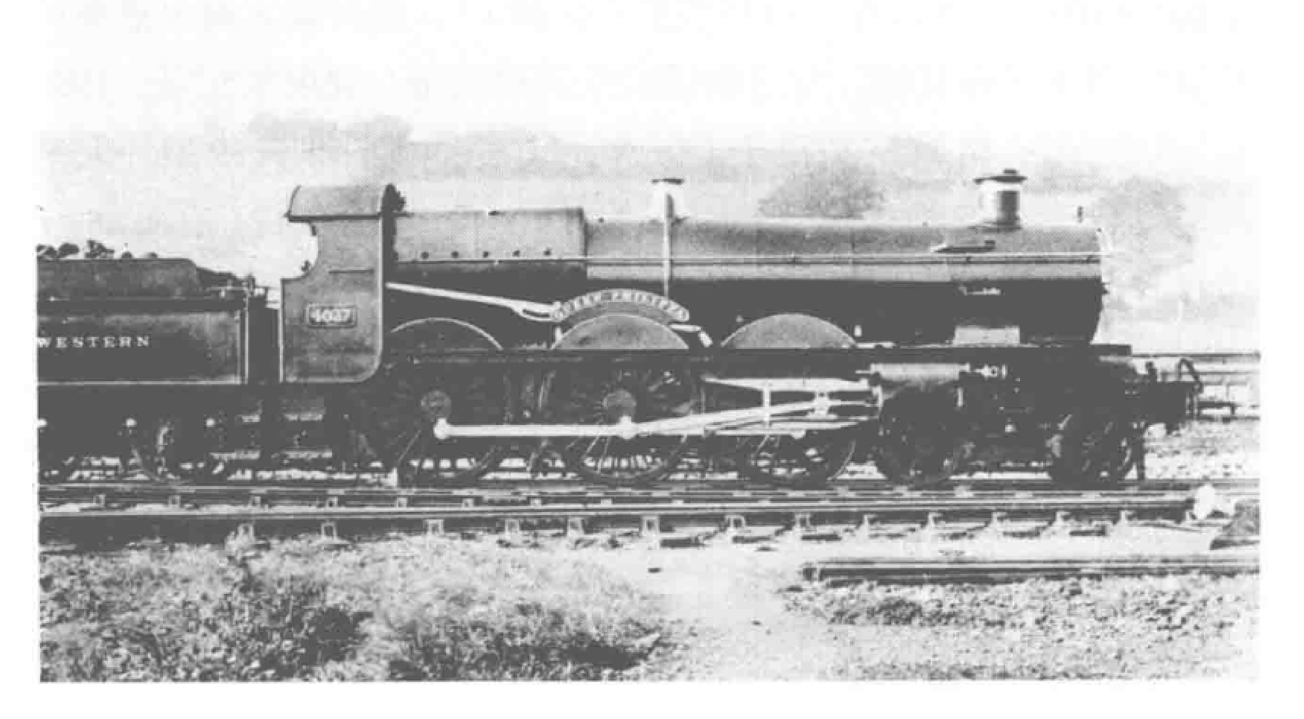


图 32.2　大西部铁路公司的“菲莉帕女王号”（Queen Philippa）四汽缸4-6-0型机车，属于丘奇沃德的“星”级机车，是“城堡”和“国王”一代的先驱。

就实际机械而言，虽然工程师们欣赏四汽缸机车在平衡方面的优点，但把高压力及高载荷加在一根轴上对荷兰铁路的发展并不利。英国和海外的某些设计试图找到某种折中方法，采用3个或4个汽缸，驱动力则分在两个轴上。这样做并未消除“锤击”效应，不过可以使这种效应远远小于简单的两汽缸式机车“锤击”效应。当然，这几乎完全是英国的趋势。在北美洲，机械结构几乎无一例外地回到了两汽缸式，所有的运行部分都安装在车架外面，从而便于维修。

同时，流线型时代开始到来。最初，人们似乎觉得流线型外壳会遮住大部分机车表面，导致不易维修。但是，设计者不得不在施展吸引乘客的手段（因为在市场极度萧条时绝不能忽视吸引大众对铁路的兴趣）和照顾火车运行的实际需要中做出抉择。从技术上讲，为了获得更高的车速，机车内部蒸汽通道和阀门出入点的流线型以及烟箱排汽口的通畅性，远比外表的流线型重要得多。沙普隆（M. André Chapelon）科学地研究了机车动力循环中的蒸汽流，在巴黎至奥尔良的铁路上取得很大成功。他建议对这段铁路的德格伦标准的四汽缸复胀式机车“太平洋型”进行改装（图32.3），使得最大输出量增加了50%以上。在英国，专门的试验接连刷新最大速度的纪录。1935年，奈杰尔·格雷斯利爵士（Sir Nigel Gresley）的非流线型“太平洋型”机车“纸莎草号”（Papyrus）为108英里/时（174千米/时）。1937年，威廉·斯塔尼尔爵士（Sir William Stanier）的“加冕典礼号”（Coronation）为114英里/时（184千米/时）。1938年，蒸汽机车的世界最高纪录为126英里/时（203.5千米/时），由格雷斯利的流线型“太平洋型”机车“野鸭号”（Mallard）创造。英国普通票价的旅客列车所达到的最高速度，由另一辆格雷斯利流线型“太平洋型”机车“银狐号”（Silver Fox）在1936年取得的，速度为113英里/时（182.5千米/时）。

766

我们还应该提到巨型的铰接蒸汽机车的发展，它先后采取了两种



图 32.3 沙普隆重建的运行在巴黎至奥尔良铁路的 4-6-2 型机车之一，也用于北方铁路公司。

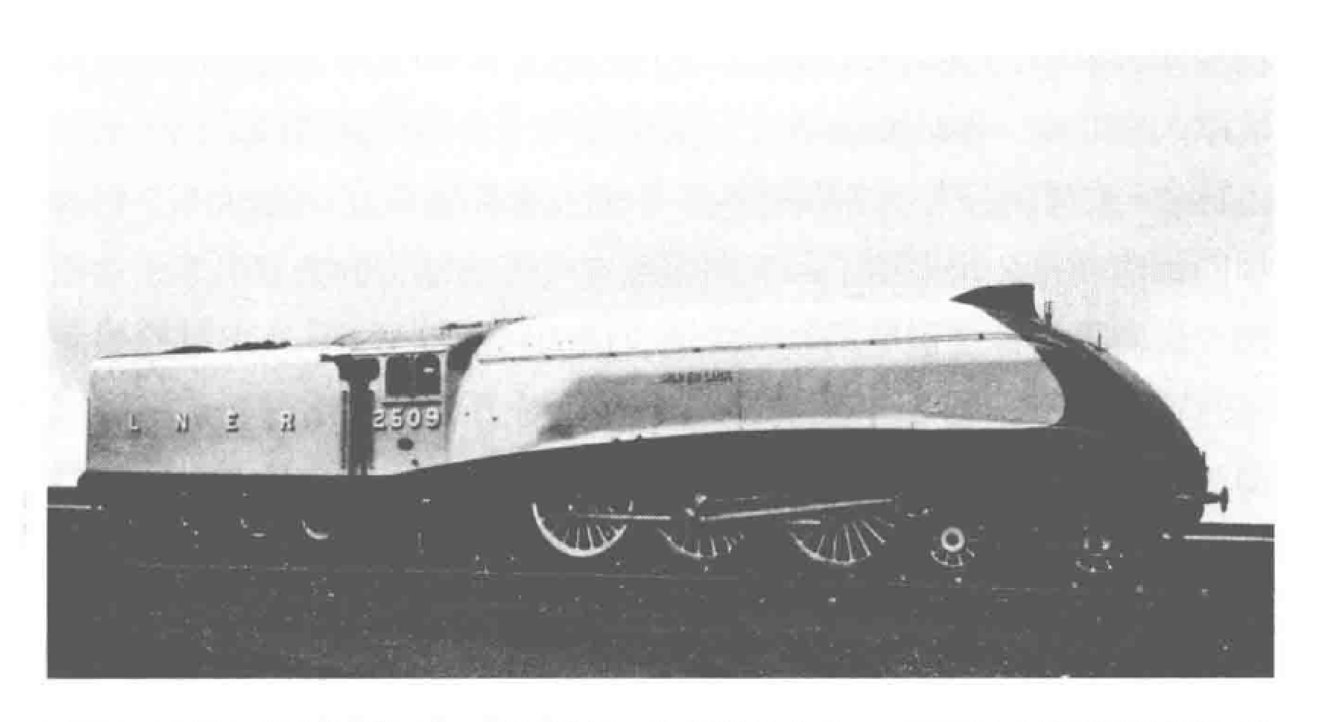


图 32.4 奈杰尔 · 格雷斯利爵士第一部流线型“A4”太平洋型机车——1935 年伦敦和东北铁路公司的“银链号”（Silver Link）机车。

独特的形式。1904年问世的美国“棒槌号”(Mallet)，在一个很长的锅炉下面有两个发动机组，后面的发动机组安装在主车架上，前面的发动机组则放在带转向台的车架上，以适应铁路的弯道。装置柔性蒸汽软管接头和在可动支架上支撑锅炉前部重量，都存在许多复杂问题。到了1941年，美国联合太平洋铁路公司(Union Pacific)建成了最大的这种类型机车“大男孩号”(Big Boys)，轮子按4-8-8-4排列，机车总重346吨，还不包括特大的煤水车。英国研制出的“拜尔-加勒特号”(Beyer-Garratt)机车适合许多不同轨距和操作条件，由两个完整的发动机组组成，发动机的动力由一个单独的特大锅炉供给，锅炉安放在两个发动机组下悬置的中心支架上，从而形成了一个高度灵活的机器，非常适合通过弧度很大的路段。由于它的结构特点——带有一个大直径的短筒和一个尺寸不受下面轮子大小限制的燃烧室，可以使锅炉具有理想的尺寸，通畅地供应蒸汽。

767

柴油机牵引 第一次世界大战结束后不久，柴油机首次应用于铁路牵引，人们立即对动力应怎样传递到驱动轮提出了许多不同意见。在波兰，罗蒙诺索夫(Lomonossoff)教授设计了1200马力的电力传动机车。1926年，在杜塞尔多夫，霍亨措莱伦股份公司(Hohenzollern A. G.)的一家德国分号为苏联建造了一辆直接用齿轮传动的机车。1929年，德国铁路公司采用了一辆用压缩空气传递动力的柴油机车。在欧洲，人们最初都想避免用电力传动，认为它既贵又重，而且整个效益不过中等水平。根据早期的经验，大的动力装置不用直接的机械驱动，因为在不中断连续运转的情况下，齿轮变速是难以实现的。与英国制造者有关的早期工程是布宜诺斯艾利斯南部的铁路，这个引人瞩目的工程采用多节电力列车，动力由一个流动电站供给，电站则由一个柴油机驱动的发电装置组成。用于该铁路的机车由泰恩河畔斯科茨伍德(Scotswood-on-Tyne)的阿姆斯特朗-惠特沃思公司(Sir W. G. Armstrong-Whitworth and Co.)建造，这是1929年的事情。

在美国，通用汽车公司的电机公司是最早、最强有力的柴油机牵引的倡导者，他们从一开始就用电力传动而不是其他任何形式。与蒸汽机牵引相比，柴油机牵引的优势在于它具有高得多的总热效率，只是这一优越性在早期被较高的原始成本以及当时与煤炭价格相似的燃料价格大大抵消了。然而，柴油机实际上没有停工损失，它对操作技能的要求低得多，在大多数运行条件下只需一个人操作。尤其是它的利用率要高得多，因为不需花费很长的"在库"时间去清火、除灰和一般维修。虽然人们进行了大量工作（尤其是在美国）来减少蒸汽机车运行的周转时间，但无论如何改进都赶不上柴油机的水平。

768

在 20 世纪 30 年代后期，柴油机用于铁路牵引时采取 4 种运转形式：(1) 具有约 1500 马力发动机输出功率的柴油机 - 电力机车；(2) 用电力传动的高速多节电力列车；(3) 通常用机械传动的单节轨道车；(4) 纯粹用于调车作业的中等功率电力传动机车。

最后提到的这种类型机车具有避免停工损失的优点，首先在英国得到广泛采用。人们更多关注第二种类型，是由于 1932 年德国国家铁路公司的两节车厢的"飞行汉堡人号"(Flying Hamburger) 引人瞩目的行车时刻表：它在柏林到汉堡之间来回运行，直达的平均速度为 77.5 英里 / 时（125 千米 / 时）。然而，后来才知道，这条线路的特殊条件更有利于获得高平均速度，因为该列车的制造者被邀请为伦敦和东北铁路公司在国王十字车站（King' s Cross）和纽卡斯尔之间的同类型火车制订运行计划时，他们所能保证的最大平均速度仅为 63 英里 / 时（101.5 千米 / 时）。因此，有一段时期，英国的高速新机车仍然是蒸汽机车。

铁路采用柴油机车牵引是迄今为止最重要的一个步骤，1935 年始于美国。通用汽车公司生产出并基本上完善了它的 567 型发动机。该公司决定全面标准化生产 567 型发动机，而不再生产其他型号。这

种发动机起初有 4 种形式，分别为 6、8、12 和 16 个汽缸。发动机为 V 型，两排汽缸的中心线互成 45 度角，动力传递到一个共同的曲轴上。发动机是二冲程的，使用直接喷射方式，并且具有低速时发挥全部马力的重要特性。这种功率特性，对于美国用柴油机牵引全面取代蒸汽机具有重大意义。最初的 567 型发动机中的最大一台为机车提供 1800 马力的功率。这远远低于当时在美国运行的最大蒸汽机车的最大功率。但是，尽管如此，通用汽车公司在标准化上进一步站住了脚。他们不是生产更大的单个机组来与最大蒸汽机车竞争，而是在他们的基本设计中进行重新组合，使两个或更多的 1800 马力机车组成多机牵引装置。这样，就可根据需要提供 3600 马力、5400 马力或更大马力的复合机组。人们认识到：与蒸汽机车不同，柴油机车在以最大额定功率工作时，其热效率最高。因此，必须仔细地给不同工作任务分配不同的机组，保证尽可能在一个工作负载的范围内达到满负荷。

769

567 型发动机及后来欧洲研制的相似产品，转速较小，属于非常坚固的船用机型。它在各种速度下的特性，显示了它如何在陡坡上以最大功率缓慢工作，这是它超过蒸汽机的极大优越性。表 32.1 列出了 4-8-4 型蒸汽机车和柴油机车两者均为 3000 标准马力时的牵引力。

表 32.1　3000 额定马力蒸汽机车和柴油机车的牵引力

速度（英里 / 时）	可提供的牵引力（吨）	
	蒸汽机	柴油机
8	24	45
15	22	28
25	18	18

当加拿大太平洋铁路公司引入通用公司设计的柴油-电力机车时，首先把它们分配到不列颠哥伦比亚省条件非常恶劣的区段，这是很有道理的。

20世纪40年代英国采用特性和567型基本相同的柴油机获得了成功，而且把设计相似的机车出口到海外许多国家（图32.5）。一个值得注意的例外是高速“三角形”（Deltic）发动机，它的名称起源于成等边三角形的汽缸排列方式。“三角形”发动机的基本结构是用螺栓拴在一起的3个独立的汽缸体，每个汽缸体带动一个处于这个三角形结构顶点的曲轴。这是内皮尔（Napier）航空发动机的原理，和567型的不同之处在于该发动机是快速运转的。它具有高功率-重量比，于1961年十分成功地应用在22辆3300马力的“三角形”机车上，并在国王十字车站和爱丁堡之间的东海岸主干线上取得高利用率、

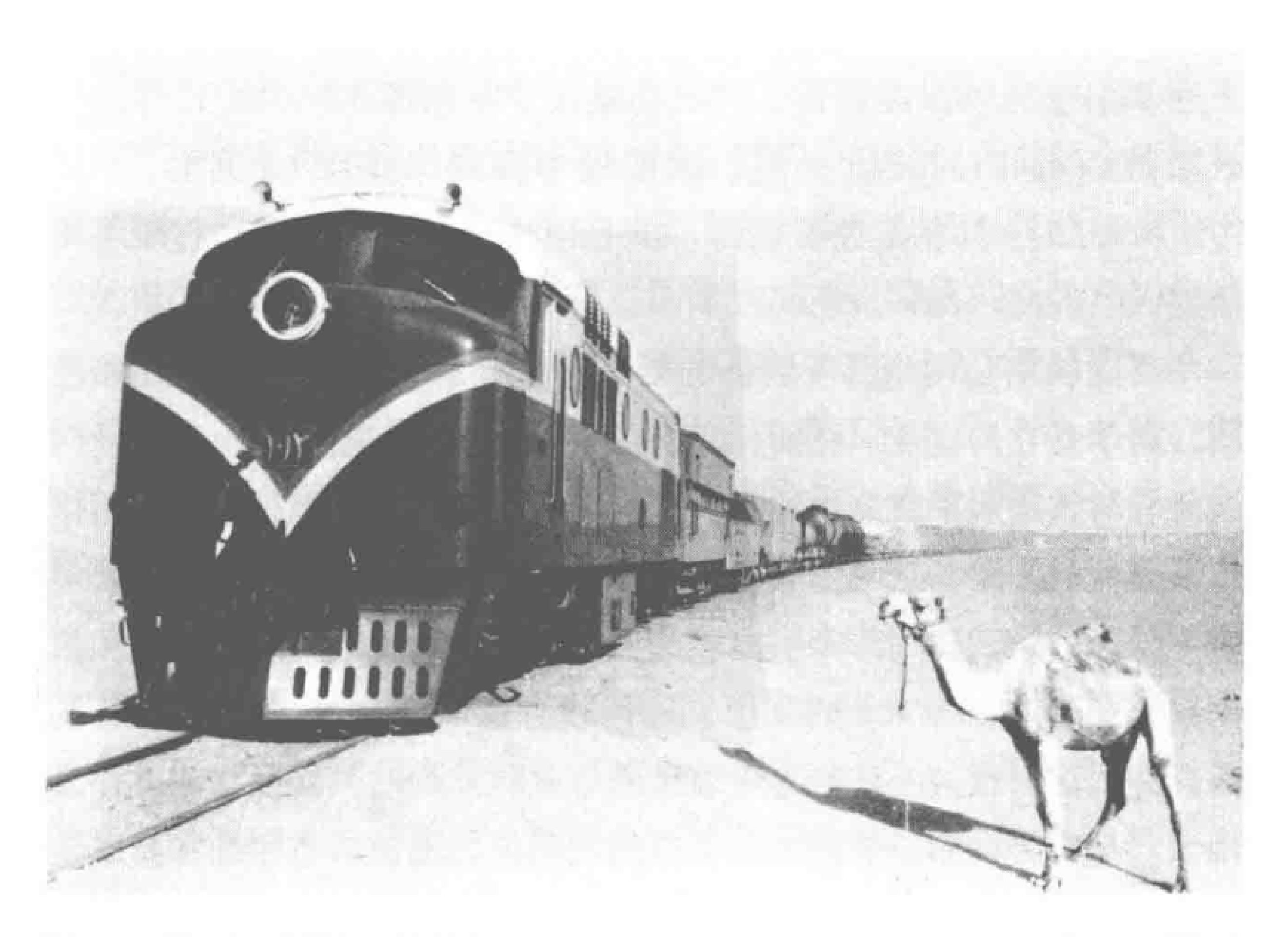


图32.5 “第一代”典型的主干线柴油-电力机车，英国电力公司为苏丹政府铁路公司建造的这类机车中的一例。

高速运行的惊人纪录。虽然需要大量的传动装置来将3个曲轴的输出组合到一个单个的输出轴上，但从这种机车被大量地投入使用的情况来看，这不算什么缺点。

770 **电力牵引** 19世纪的创业者们，尤其是美国和欧洲大陆上的人们，渴望把电力用于铁路机车牵引。他们引入了各种各样的牵引装置（第V卷，边码346），其中一些没能经受住时间的考验。早期安装的设备中有英国和美国的600—650伏低压直流电系统，有意大利和匈牙利的3000伏三相交流电系统，还有美国的1.1万伏单相交流电系统。几乎在一开始，美国就存在着相互竞争的机车系统。1905年伦敦环城地下铁路电气化时，在用600伏直流电系统还是用布达佩斯的梅斯里斯·冈兹公司（Messrs. Ganz）提出的三相3000伏交流电系统的问题上，英国也曾对此争论不已。后者现今已被淘汰，只具有历史意义。但是，有一段时间，它在意大利被广泛应用。三相牵引电机以恒速运转，它成功地用于从热那亚向内地延伸的乔维坡地（Giovi Incline）一线，沿着地中海海岸线以60英里/小时（97千米/时）的稳定速度运行。但是以现代化标准衡量，它缺乏灵活性。

771 英国铁路公司南区所装备的低压直流电系统直到1950年还在使用，简单是它的优点。然而，它使用第三轨给机车输电，由于在乡村地区有与铁路水平交叉的道路，意外事故时常发生。把行车轨道用作牵引电流的回路，这与伦敦运输公司所用的系统不同：伦敦运输公司有一分开的第四轨用作牵引电流的回路。南区系统最初是为伦敦和西南铁路公司（L.S.W.R.）的郊区铁路网设计的。但是1923年英国各铁路合并以后，在进一步制订伦敦地区电气化计划时，必须在伦敦和西南铁路公司带有第三轨的600伏直流电系统与伦敦、布赖顿和南岸铁路公司（L.B.S.C.R.）带有高架集电线的6600伏单相交流电系统之间做出选择。后一系统是菲利普·道森爵士（Sir Philip Dawson）推荐的，

因为他早就知道布赖顿铁路公司的整个主干线网都会尽快地改为电力牵引。合并后，伦敦和西南铁路公司的低压直流电系统被选为日后的标准系统。后来，除了边缘地区的几条铁路线之外，这个系统用于南区的整个网络，之后扩大的地区电压增至750伏。

回顾1923年南区的决定，人们一定同样记得：那时在英国，开始电气化的铁路必须自己发电，因而一些大发电厂建造起来，由几组燃煤锅炉供给动力。然而20世纪20年代末以前，安装国家电力网的工作开始了(第Ⅵ卷，第12章)，铁路可以购买该电力网的电力。在英国，除了伦敦的L.S.W.R.和L.B.S.C.R.系统外，达勒姆郡还有一条通过高架电线供给的1500伏直流电运行的短程矿区铁路。为此，围绕着英国的主干线电气化今后所采取的标准系统人们进行了讨论。那时，巴黎至奥尔良铁路线已开始电气化，采用1500伏直流电和高架线系统。在印度，大印度半岛铁路公司的第一条铁路电气化也采用这一系统。最后，由韦尔勋爵(Lord Weir)主持的一个委员会在1931年批准了一个更早的委员会的建议，同意把后一系统作为英国今后的标准系统。伦敦和东北铁路公司载运量很大的曼彻斯特至设菲尔德主干线的电气化就采用这一系统。荷兰国家铁路局也将这一系统作为标准系统。它的优点是电力控制简单，而且较高的电压减少了长距离输送的损耗。人们普遍认为，高架线路对主干线工作是必不可少的。欧洲的其他两个国家——比利时和意大利也采用直流电牵引，但其电压还要高，达到3000伏。在意大利，老式的三相交流电线路逐渐被更换了。

772

同时，随着20世纪初瑞士实验性工作的进行，欧洲大陆的工作在朝不同方向发展。在美国，采用高架线路1.1万伏单相交流电的诺福克及西部铁路公司使用由相位变换器供电的三相牵引电动机的机车。这是由于开始使用单相交流电动机时难以取得满意的配电效果。但是，在1903年，贝恩-埃申伯格(Behn-Eschenburg)设计了一种采用

低频电流情况下能给出满意结果的电路。1913 年通车的新建勒奇山线采用了单相交流电牵引电机，单相电流的频率为每秒 16 $\frac{2}{3}$周、电压为 1.5 万伏。这些电机的安排使速度适应于荷载，这样就产生了比那时意大利通用的三相电机要灵活得多的运行性能。新的勒奇山机车额定功率为 2500 马力，装载 315 吨货物在 1/37 坡度上的运行速度为 26 英里 / 时（42 千米 / 时）。勒奇山线路获得圆满成功，频率 16 $\frac{2}{3}$周、电压 1.5 万伏的单相交流电系统成为瑞士联邦铁路公司的标准系统，也成为德国、奥地利、挪威和瑞典的标准系统。

773

直到第二次世界大战结束，世界电气铁路实际做法可以划分为 4 种既定的、经过考验的系统：高架线路的 1500 伏和 3000 伏直流电系统，频率 16 $\frac{2}{3}$周、电压 15 000 伏单相交流电系统及英国铁路公司南区使用的第三轨集流低压直流电系统。在这一时期，勒奇山铁路局引入全附着轮型机车，又一次成为先驱。这种机车不带任何导轮或无动力从轮，依靠两组带 4 个行走轮的转向架运行（图 32.6）。直到那时以前，人们一般认为在高速机车上，导轮或从轮是必需的。但是法国铁路公司采用了勒奇山的设计，并在 1955 年两次试车中证实：结果支撑设计良好，这种形式的机车以极高速度运行时也是稳定的。两次试车最高速度达 206 英里 / 时（332 千米 / 时）。

在我们回顾的这段时期的末期，铁路的电气化又出现了一个新问题。电力牵引迅速普及的最大障碍之一是高架线和支架以及变电所花的高成本。但 1951 年在法国进行了试验性安装，采用每秒 50 周商业周频的 2.5 万伏单相交流电系统。这一安装表明：装配一条主干线所需的基本费用只是采用 1500 伏直流电系统费用的 2/3。这个事实立刻给法国和英国以启示，当时两国都准备进行大规模的电气化工作，两国都决定改用 2.5 万伏交流电系统。虽然在 1954 年后他们才做出

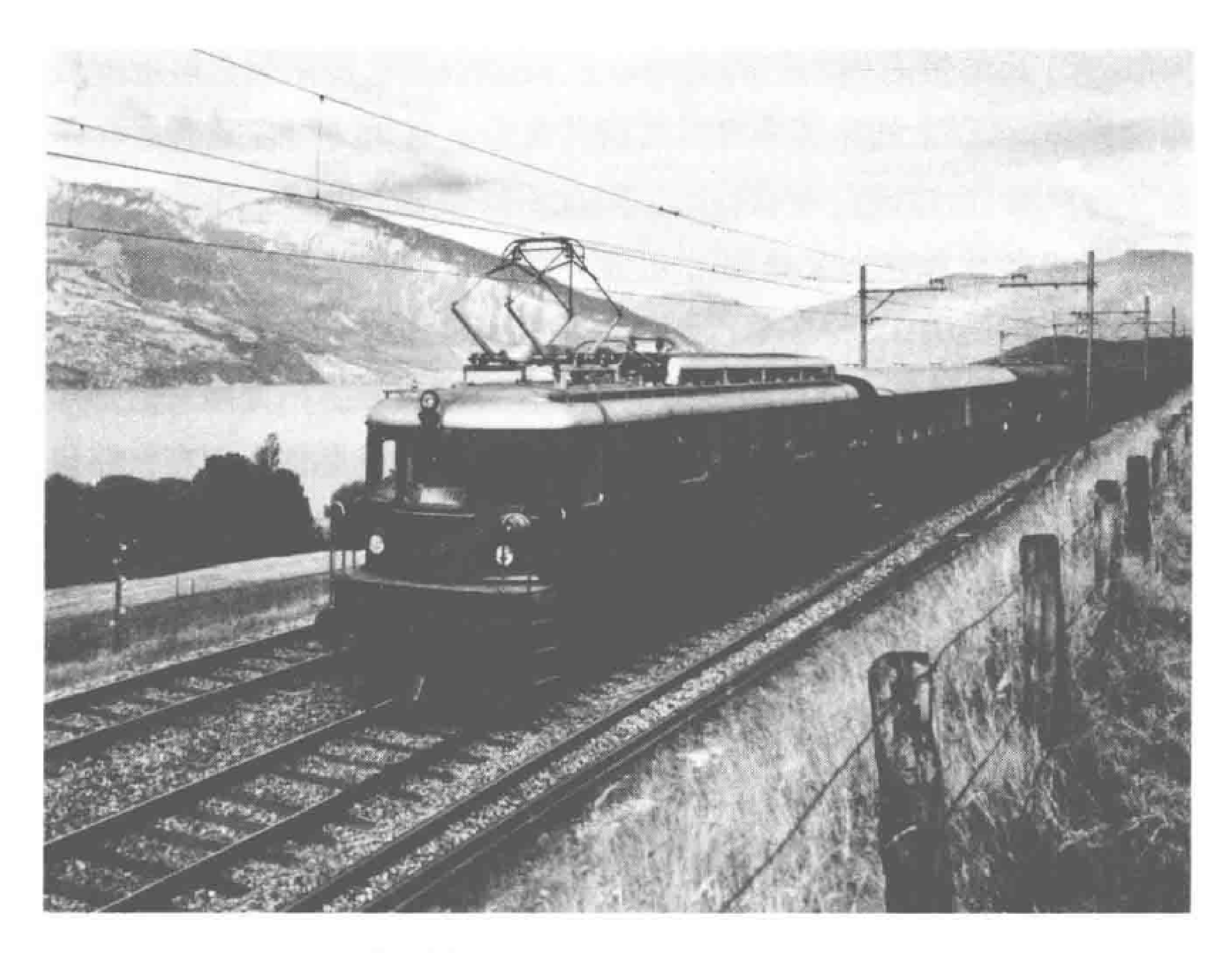


图 32.6 伯尔尼 - 勒奇山 - 辛普朗铁路客车的“Ae 4/4”全附着型电机车。

决定并开始实施，但需要进一步说明的是，在英法两国成功后，世界上其他地方相继采用这个系统进行新的电气化，包括日本、印度、捷克斯洛伐克、匈牙利、南斯拉夫、葡萄牙和土耳其。

客车 20 世纪初，客车的设计处于过渡阶段。到那时为止，木材仍然是主要的建造材料，甚至用木材来建造底架。那时欧洲使用很多大型豪华客车，英国也少量采用，而许多快车配有小型无转向架的车辆。在北美洲，流行大得多、重得多的车辆，与欧洲人喜欢的包间式不同，车内是敞开客厅式的，这种形式更快地促使钢车厢的采用。英国在 20 世纪早期开始使用钢底架。随着带走廊的客车和更奢侈的设备的普遍推广，设计者特别注意减小客车的自重以减轻机车的牵引负荷。突出的是，1904 年大西部铁路公司的丘奇沃德建造了 70 英尺

774

(21.5 米）长的带走廊的三等客车，带有两个四轮转向架，可舒舒服服地供 80 名以上的旅客乘坐，然而其自重只有 33.5 吨。这种客车是为 4—5 小时短途旅行而设计的，因此不需要那么奢侈。作为另一极端，1908 年伦敦和西北铁路公司为英格兰至苏格兰的日班车建造了自重为 42.5 吨的 12 轮客车，然而只能载 48 名旅客。

夜间车提供各式各样供睡眠的设备。在北美洲，内部敞开的形式不如用拉帘隔开的固定床铺的形式更适于个人的隐私性。而在铁路包间车（Wagon-Lits）公司经营的豪华火车上，私人卧铺都是两层的。只有在英国，头等车厢的旅客才能享受单间卧铺的隐私性。三等卧车是在 1929 年引入英国的，这种客车的每个包间里有 4 个卧铺。

在欧洲大陆，第一次世界大战的恶果是留下许多老式的木质车作快车使用。不幸的是，通常这些车被编排在先进的重型车之间，所以在发生事故时，它们遭到的破坏很严重。后来，钢客车取代它们成为通用列车。第一次世界大战以后，还做了大量工作对客车的制动闸进行普遍改进。英国 4 条主干线铁路在 1923 年合并以后，决定对自动真空制动闸进行标准化，而不采用空气制动闸，当时几乎整个欧洲大陆都在使用空气制动闸。随着运行速度的逐渐加大，这两种制动闸沿着长长的列车管线传送制动作用在速度方面的局限性日益严重。用空气制动闸时，司机操纵闸阀使压力减小，需要几秒钟才能对尾部起作用，结果后部车厢制动闸的作用就延迟一些。用自动真空制动闸也产生同样的时间滞后。为了克服这一缺陷，发明了电动气动式制动闸。电动气动式制动闸可对整个车身同时制动。大西部铁路公司为真空制动闸研制了一个“直接进风阀”，安装在每一节车上，使得长列车尾部的制动大大加快。为了对特别长和重的货车进行有效的控制，美国对空气制动闸进行了各种改进。

775

在英国的客车设计中，车厢设备由传统的小包间逐渐改换为敞开的客厅，座位之间放置桌子，仅在车厢两头有门，还有把小吃和快餐

送到每位旅客座位上去的设备。这种客车上普遍采用空调，因而个人不必去开关窗户。但是在欧洲大陆，从1961年起，许多横贯欧洲的特别快车（TEE）业务的客车包括敞开型和包间型两种。法国的“最舒适”(grand-confort）客车可能代表了旅行的最高奢侈程度。其悬置系统是一流的，在以大于100英里/时（160千米/时）的速度运行时，乘坐起来极其平稳舒适。就业务而言，相比之下，大城市周围的集中通勤业务向客车设计者和交通操作人员不断提出一个问题：在早晚高峰期，怎样提供大量客运服务。在一些装载的标准高度比英国要大的铁路线上，采用了双层客车，突出的例子如蒙特利尔地区的加拿大太平洋公司以及悉尼的新南威尔士铁路公司的铁路线。但是当单列客车由于上述方法载客量增加时，必须考虑旅客上下车的时间。就是由于这一原因，在可能是世界上通勤业务最集中的英国铁路公司南区，客车仍然是包间式的，没有走廊，每个包间分别有门，这仅仅是为了旅客能迅速地上下车。

货车　全世界大多数铁路的货物运输在这一时期也经历了巨大变化。起初货车用通用车辆装载托运任意大小的、整装的或散装的货物。后来趋向专用列车，运输那些通过陆路或其他方法不能运输或运输不经济的货物。从简单的、多种用途的货车开始，变成专用的特殊的运输，如把汽车从工厂送到装运港，以及运送散装水泥、粮食、铁矿和煤等。现在，货车是根据集装原理来运营的，进行固定编组。例如运煤货车从煤矿到电厂穿梭往来，在每端都铺设便于连续运行的轨道，不必转轨或摘掉干线机车。货车上设计有机械操纵的卸货门。

776

虽然不可能将所有铁路货运组成集装运输，或者像大的工业组织那样租用指定列车运输，但应用集装箱原理大大地消除了许多短途快运的列车编组调度作业。在这些情况下，“集装”运输由一组固定的平车组成，在平车上装载标准尺寸的集装箱。不是所有的平车在每一

行程都满载，但使用货物转运站的机械装卸装置把集装箱从卡车卸下装上火车，或反之，促使了货物中转的高速高效。现代货车全部装有连续自动制动闸，其运行速度高达 70 英里 / 时。

32.2 铁路和铁路设备

轨道 直到 20 世纪 40 年代中期，在不列颠群岛的标准轨距铁路上铺设的是双圆头型钢轨，固定在铸铁轨座上，轨座通常放在横向枕木上。这种轨道还用在一些印度铁路和从前的法国西部铁路上。世界其他地方采用的是平底型钢轨，即丁字形钢轨，直接用道钉钉在枕木上。这种钢轨相对来说要便宜，而且容易安装，因而用于为开拓殖民地而修建的铁路以及对行车速度考虑较少的一些地区是理想的。另一方面，英国对本土的铁路轨道质量感到自豪，这是由于不断地进行仔细维修的结果。当时的维修是由专业技术好、经验丰富的线路检查员用简单的手工工具进行的。随着行车速度的提高，在北美洲、法国和其他地方，对平底钢轨维修的标准提高了，结果英国工程师开始重新考虑他们在“本土铁路”上的传统做法，并且对两种形式钢轨的技术特性进行了全面比较。

777

在 20 世纪 20 年代经济每况愈下的形势下，由于标准钢轨的冶金成分得到了改进，在其中加入锰使表面更加坚硬，并且有更好的耐磨性能。工作强度大的连接部位会出现严重的磨损，便用镍钢特制的铸件代替原先手工锻造的辙叉心轨尖端以及标准钢轨中类似的零件。同时，在使用平底钢轨的铁路上，还不断研制不同于传统道钉的轨扣件，以便在快而重的列车运行条件下，能更长久地保持轨距和轨距线。日常维修达到了更高的精度，较少地依靠个人的技能，更多地依靠日益精致的设备，尽管当时还没达到部分机械化的程度，更不要说全部机械化了。20 世纪 30 年代，英国大萧条时期进行的一项引人瞩目的举措是采用钢枕。钢枕的采用具有双重目的：避免进口外国木材（毫无

疑问木材是轨枕的最好材料）和支持当时处于危机中的钢铁工业。大量的试验研究工作开展起来，但是无确定的结果。直到后来才得出了未来铁路轨道的最终答案。

英国铁路对未来的平底型钢轨进行标准化的决定是在 1948 年实行国有化以前作出的，这一决定所依据的事实是：对一给定的单位长度重量，平底钢轨具有较大的横向刚度，因此渴望以较少的维修工作来保持线路。在当时熟练劳动力缺乏而且日益昂贵的情势下，这是一个很重要的考虑因素。在采用平底钢轨时，英国铁路公司同时在钢轨和轨枕之间安装上一个特殊形状的垫板，使垂直轴产生相同的向内的倾斜。人们发现这样做对老式的标准双圆头型钢轨是有利的。两条钢轨相互微微向内倾斜一些所形成的组合效果把一个向心效应传到火车上，以抵消运行时的偏行和摆动。

在平底钢轨引进英国的同时，凡是具有重快型铁路运输的国家都有一个普遍倾向，就是尽量使养路工作机械化。设计出一些专门机器用于道碴填充、线路中心线找准和线路找平这类工作，而且用特殊设计的、能够将一段段预制轨道放到它最终位置上去的起重装置，让更新和重新铺设铁轨的任务变得容易。不管螺栓连接得多么仔细、邻近枕木填塞得多么稳妥，钢轨接头一直是轨道的弱点。第二次世界大战以来，一直在试验的将钢轨接头处焊接起来形成连续长轨的方法已成为标准方法。要吸收由外界温度变化产生的应力，即原先反映在钢轨的膨胀收缩上并由钢轨接头处的小空隙调节的应力，必须格外当心地铺上适当的道碴来防止钢轨在热天时弯曲变形的危险。世界上所有铁路中，铺道碴的质量一直是不同的：从轨枕直接铺在地面上而周围没有多少填充物，到美国东部各州、伦敦和西北铁路公司以及其他运输量大的铁路线使用大量的碎石道碴。

778

第二次世界大战以后，混凝土枕被广泛采用，并且最终达到标准化。法国在这方面的办法是在每一根钢轨下放一块混凝土块，并

且用钢拉杆连接起来。而在英国，混凝土枕是连续的，用模具浇铸而成，它具有很大的优点：在一根钢轨与另一根之间，断面可以根据应力的不同分布而变化。这样能够使材料得到最有效的利用，减小了应力最小的中部断面的尺寸，因而减少了重量。试验结果已经证明，混凝土枕（如英国和法国研制的）用来承担很快、很重和频繁的行车是最有效的。

32.3 信号和行车调度

大型火车站不断增长的行车频度以及对改进行车流量更紧密连接的需要，导致了各种各样的机械力驱动道岔和信号系统的产生。不仅握柄操纵这一体力劳动被取消了，而且小型化的设备也能够使许多功能由一个信号箱来操作。在美国和英国，以及在法国和德国的较小范围内，这种类型最早期的设备中，所有信号机本身仍是带有信号臂的常规形式。在道岔操作中，为对向道岔锁闭机和锁定杆提供单独的设备，采取机械力驱动。不同的机械力系统被采用了，最普遍受欢迎的是由压缩空气汽缸提供原动力，并有电磁铁控制阀的电动气动式机械力系统及全电动系统。在全电动系统中，道岔和信号机的操作是用小电机，通过齿轮系驱动进行的。

779

1872 年发明了轨道电路，这一发明使机车在更安全运行方面取得突破成为可能。虽然除了美国之外，它的推广是十分缓慢的。它最初的惊人应用之一是在 1905 年伦敦大都会区铁路电气化的时候。当时，一个年轻的来自康沃尔郡的工程师彼得（Bernard H. Peter）在米尔希尔公园（Mill Hill Park）站［现在的阿克顿（Acton Town）］安装了世界上第一个灯光轨道显示图。在这以前，最早的美国动力联锁机上已经有了在轨道显示图上的机械指示器，来表示每对道岔的放置方向。彼得采用大得多的轨道显示图。在这个显示图上，全部轨道电路都是发光的。由于火车经过轨道电路时，灯是熄灭的，因而火车的全部运

行过程都展现在信号员面前，信号员不必探头往窗外看。这是铁路操作史上最伟大的里程碑之一。轨道电路的使用也取消了对老式锁闭杆的需要。这种锁闭杆安装在对向转辙器近旁，以防止不小心在火车经过时扳动了道岔。从此以后，对向转辙器锁闭动作与道岔的动力操纵的机械结合起来，就要分设的操纵杆了。

在世界先进国家中，行车频率的增加不可避免地导致失误，其原因或是由于信号员不小心忽略了程序规则的某一步，或是由于驾驶员误解了信号或错误判断了它们的速度和距离。为了避免这些人为错误的影响，1905 年以来的一段时期，铁路工程师和管理官员之间进行了大量的合作，更不用说个别的发明家和信号系统的承包者所进行的合作了。轨道电路被广泛地誉为防止静止机车和车辆被遗忘危险的理想工具。但是提醒司机注意潜在的危险情况涉及操作中的心理问题。人们普遍认为：作为最后手段，火车的控制不该仅仅由司机手动掌握，而应该自动地应用刹车闸。美国在这个时期开始做了许多复杂的研制



图 32.7　现代信号装置，约翰内斯堡附近南非铁路公司新加拿大枢纽站的一个灯光显示板。

工作，这将在后面讨论。在英国，从 1906 年起，大西部铁路公司研制的驾驶室音响信号机所体现的原理，成为 1948 年以后大伦敦都市区地铁的标准装置。这一原理是在经过每一个距离信号时，驾驶室中给出一个不同的音响信号：当信号清楚时，铃声响起，并且用汽笛作为警告。后者必须经驾驶员确认；如果确定不了，他就使用刹车，列车就停下来。如果确认适当，他就能完全控制列车。

780

大约从第一次世界大战爆发起，信号指示的整个领域都处于变化之中。这里我们不考虑欧洲大陆上见到的那些各不相同、错综复杂的圆盘式、板式和臂板式的信号机设计。美国首先摆脱传统的下向臂板信号机，而应用上向臂板信号机。由此臂板位置很自然地由 2 个转变为 3 个：水平表示“停”；向上倾斜表示“警告”；竖直向上表示“通行”。其后，又在美国首先进行了灯光信号机的开发，这种信号机具有在白天和夜间显示同样指示信号的优点。一些美国铁路白天采用了与夜间的三位上向臂板信号机相应的指示信号显示红色、黄色和绿色。而其他美国铁路则采用所谓的“位灯信号机”。位灯信号机不使用颜色，而是在一块大的圆盘上显示一排白灯：水平时表示停，倾斜时表示警告，竖直时表示通行。这种形式信号机的最大使用者之一是宾夕法尼亚铁路。在英国，对这个问题进行了大量研究之后，采用了彩灯信号，并且（除大西部铁路以外）在熟悉的红色、黄色和绿色方面实行了标准化，还增加了重要的“双黄灯”，在行车拥挤的线路上提供预先的警告。

早期使用小型手柄的电力联锁机在手柄之间有小尺寸的机械联锁装置，其形式和老式人力手动装置一样。但是随着尺寸的增大和工作复杂性的增加，这些小型化锁闭结构不仅在设计上非常麻烦，而且如果行车要求发生变化，需要重新安排铁轨布置时，要改变这些结构也很难。1929 年，英国研究出了全电气手柄联锁机。这是向完全取消手柄的方向迈出的第一步。这里涉及一个重要原理。无论是通过锁定

爪的机械啮合，还是通过电磁锁产生作用，手柄联锁装置对信号员偶然做出错误操作都给予机械性的限制。如果某一操作不安全，那么手柄就拉不动。随着用按钮和按钮开关代替手柄所引起的进一步小型化，这种机械性的限制就被取消了。现在的安全措施是这样的：如果某一企图会造成不安全条件，那么电气联锁装置就会防止机械做出反应，并且信号员能在控制盘上看到一个指示信号指明这种情况。继电器，或者更准确地说"电路联锁机"，在大型控制机中的使用完全是英国的发明。

在美国，20 世纪 30 年代为其他目的而研制出的小型控制盘被用于铁路上。这种小型控制盘是由按钮开关来启动信号的活动机构。在许多穿过人口稀少的乡村地区的单轨主干线上，用电报命令来调节列车的运行，电报给驾驶员以文字指示，指示他是行进还是在指定的会让线上等待迎面而来的列车到达并通过。这是一个简单、经济的系统，依靠调度员对列车的良好判断来安排列车"会面"，使得等待的时间最短，同时还要依靠机车司机准确地遵循书面指示的责任感。但是在行车量增大时，这种方法是麻烦的和缓慢的。这种依靠人的因素的系统所引起的偶然性错误，会导致单轨区段灾难性的迎面相撞。一个调度员管辖的一个区段或一个子区段可达 100 英里（160 千米）。虽然带有轨道灯光显示图的集中电气控制是理想的，但远距离操作的直达电路所用的电缆价格过高。为了满足这些条件，电码遥控系统被设计出来。在这一系统中，一共仅有 2 条或 3 条线路，每一个功能（信号或道岔操作机）都有一个不同的电码，与个人用户电话在自动电话系统上拨号完全一样。众所周知的集中运输调度（CTC）非常成功地用于西部和中西部的许多铁路线上，尤其是在第二次世界大战中的大量使用，后来英国制造商还将该系统广泛地用于新西兰和罗德西亚。

直到第二次世界大战末，欧洲大陆上还没有大范围安装彩灯信号

机。1945年以后的重建时期，新建设备都选择了灯光信号，而不用臂板信号机（对于法国则是不用以前法国铁路上特有的棋盘形、菱形和圆盘形复杂信号标志系统）。各个国家都发展了自己特有的信号表示规则，其中大多数类似于英国的标准信号，但北美洲的彩灯信号则基于不同的原理。英国的信号规则具有地理上的含义：在分岔路口告知司机该走哪条路线。美国的规则体现了"速差式信号"原理：告知司机运行的速度应该是高速、中速还是低速。各种运行速度的数值在铁路章程中规定。美国人不采用英国的一个箱子里装3个或4个透镜装置的方法，而是利用"探照灯"式的装置，它能通过里面的一个三位继电装置从同一透镜中显示红色、黄色或绿色信号。这种探照灯式的3个单元，竖直地安装在同一立柱上。红色、黄色和绿色各自显示的指示信号的相对位置的组合形成了不同速度的信息，正在接近信号柱的列车司机可以看到并根据这些信息操作运行。

782

把信号控制集中在数目相对少的大信号箱中的巨大优点，甚至在

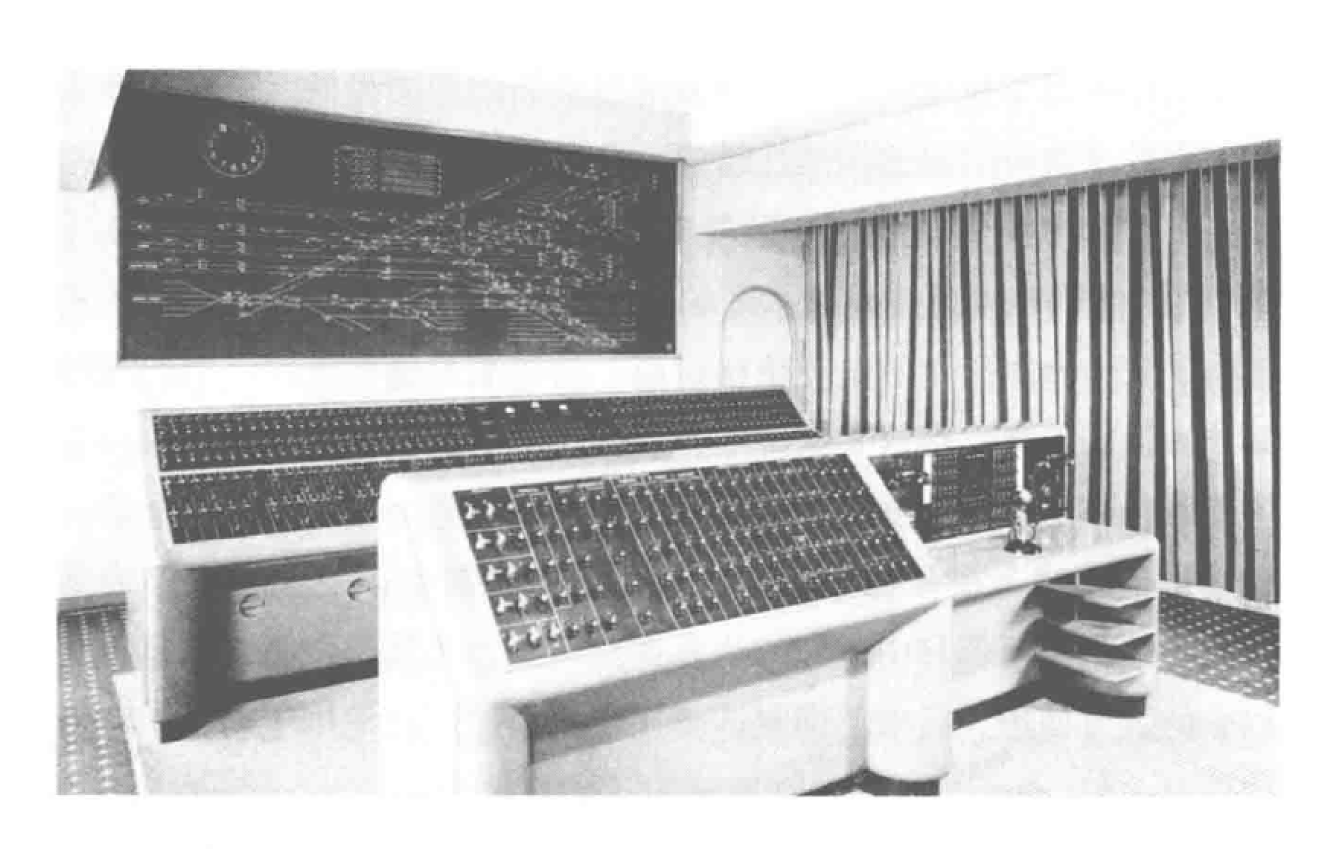


图32.8 现代单一控制开关屏式信号箱，意大利国营铁路公司博洛尼亚站的一个实例。

第二次世界大战以前就在英国铁路上充分显示出来了。但是，把这样的系统扩大应用到大的地理区域（如美国 CTC 系统）是行不通的，因为传递控制电码所花的时间（大约是 4 秒）太长了。在美国，行车状况比长程单轨线路上的情况要紧张得多。然而，后来电子科学被应用到铁路信号远程控制中，并且由于用晶体管取代先前的电子机械分挡开关，电码几乎能被即刻传递。在本文所考察的这个时期的末期，这种新技术仍处于幼年时期。但是现在可以指出，在 1974 年电气化的 230 英里（370 千米）的英国铁路西海岸干线上（在柴郡的威弗枢纽站和格拉斯哥之间），现在仅装有 5 个信号箱。

783

20 世纪 20 年代，由于频繁的严重事故，美国制定了铁路法规，迫使铁路迅速采用各种各样的列车自动控制系统。这些系统有不同的形式，这是可以理解的，因为那时各铁路线旁所安装的信号设备各不相同。在各种列车自动控制系统中包括各种形式的驾驶室信号机。它们与大西部铁路公司首先使用而形成的英国系统不同，是以视觉指示信号为基础的。在某些铁路上，驾驶室信号指示机上只显示 3 个灯光字母 H、M、L（高速、中速和低速）就够用了；而其他铁路上驾驶室装有小型的复现沿线路边信号指示的设备。所有早期设备中还包括闸的自动控制。在一些铁路上采用断续式控制，相继的信号点一个接一个对机车实施控制；而在另一些铁路上则采用连续式速度控制，由流经轨道回路和机车接收机之间的电流形成耦合感应电路产生信号来控制，并且根据不同路段规定的极限调整行车速度。于是，宾夕法尼亚铁路公司根据大量经验省去了自动刹车部件，完全依靠连续控制的驾驶室信号指示器。第二次世界大战期间，匹兹堡地区的一条全货运线路还省去了沿线的路边信号机，完全依靠驾驶室信号指示器。这实际上是个先例，后来渐渐发展为日本的新干线高速铁路上的标准信号系统。

785

19 世纪结束以前，人们就开始努力，把费时费力的货车的调车

工作建立在更合理的基础上。由此引入了驼峰原理，需要重新编组的列车在一个连续运动中被推过驼峰峰顶，同时集中控制所有道岔操作已经互相分开并已派定不同到达场的货车，在通过驼峰顶峰后快速分开，速度大致上达到 15 英里 / 小时。在这种情况下，用手工操作道岔是来不及的。1906 年，在英国，大中央铁路公司在巴恩斯利附近的沃斯集中调车场安装的动力道岔值得注意。虽然道岔的操作被集中了，但在这一集中编组车场以及大西洋两岸的类似编组车场都必须雇用许多人，以检查运行货车的速度，并缓慢地将这些货车与已安排在旁轨上的货车连接。

20 世纪 20 年代初，“车辆减速器”，或“轨道减速器”，首先在美国引入。车辆减速器主要由一种梁的连接系统组成，这些梁平行放在轨道两边，长度为 50 英尺（15 米）或更长。它被设计成当货车通过时向内运动从而夹紧车轮（图 32.10），它的开动是靠电动气动方法或全电动方法来供给动力。由于采用主控室的集中控制，那里的操作者从高处可看到整个调车场，他们能够对每辆货车或组合货车群施行这种制动作用，按需要把货车的速度减小到恰好把它们带到所安排的侧线上可利用的空间尽头。减速器的引入取消了地面工作人员。两次大战之间，美国建立了许多这种类型的调车场。英国也有一些，著名的是 1929 年开始运行的马奇（剑桥郡）的赫尔调车场以及诺丁汉附近的托顿（Toton）调车场。

然而人们发现：实践中，控制塔的操作者并不能总是准确地判断所要求的制动程度。第二次世界大战以后，减速器向完全自动化又迈进了一步。减速器的操作由计算机控制。在计算机中输入所有影响列车运行变化因素的统计数据：它的重量、初始速度、“滚动性”（即是否自由运行）、列车所安排进入的侧线的实际特征、主要风向等。侧线的实际特征不仅仅包括直到最后一辆车停放的有效距离，还包括线路的曲率大小，因为曲率大小会大大地影响运行。20 世纪 50 年代初，

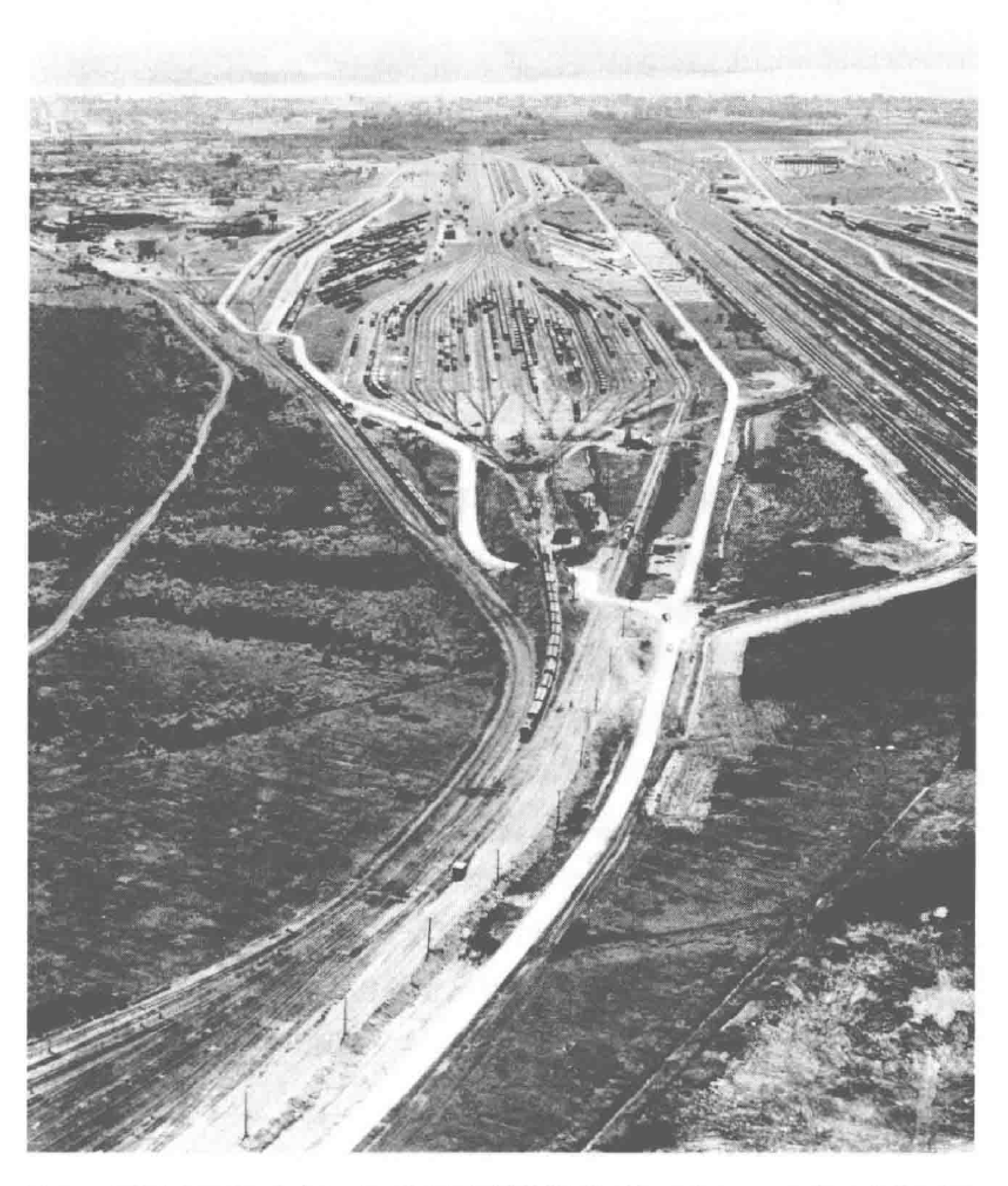


图 32.9 机械化编组车场：加拿大 - 太平洋铁路公司蒙特利尔附近的圣卢克（St. Luc）编组车场的鸟瞰图。

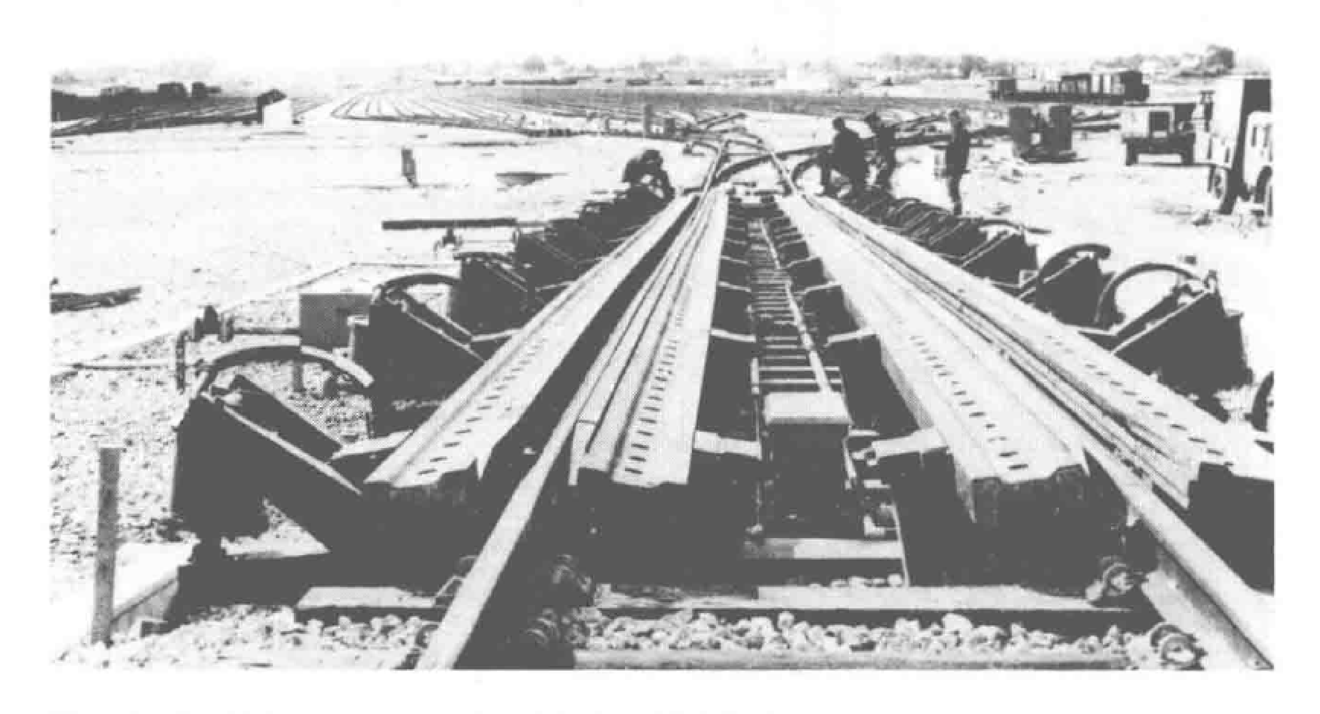


图 32.10　英国铁路公司卡莱尔调车场的车辆减速器的全貌图。

英国建造体现这种程度异常精密的调车场，并且在自1955年以来的英国铁路现代化计划期间达到了一个很大的范围。

787

蒸汽牵引的逐步淘汰，以及使机车车辆达到最大限度利用的要求，引发了车站布置和运营的新观念。到1950年，长途特快列车到达终点，上下旅客，然后又开始长途旅行，全过程只需要20分钟，这种情况已很普遍。牵引列车进站的柴油机车或电力机车可以迅速摘钩并调头运行，所花的时间比客车在终点站停留的时间长不了多少。同时，现代车站为旅客服务的措施很像大型机场的设施，其全部舒适的设施都设在中央大厅的周围。现代站台及其全部陈设布置再也不像维多利亚时代的优雅站台，而非常贴切地符合美国名词“列车棚”的含义。车站配有书亭、咖啡馆、公用电话亭，以及其他一切适应即将离站的长途快车旅客实际需要的生活设施。

32.4 世界铁路网的扩建

19 世纪铁路的发展已颇为惊人，表 32.2 显示自那时以来铁路持续发展的情况，日本、南非和苏联的铁路里程自 1900 年以来翻了一番。同时，一些私有铁路竞争激烈时所建造的老铁路网则在减少，而 1980 年的数据很可能会表明它还在更加急剧地减少。

除了铁路网普遍扩大以外，一些著名的干线工程要特别提及： 788

加拿大：国营横贯大陆干线，1913 年，

蒙克顿（新不伦瑞克）至温尼伯：2900 千米；

太平洋大干线，1914 年，

温尼伯至鲁珀特王子港：2870 千米；

加拿大北线，1915 年，

温尼伯至温哥华：2800 千米。

波　斯：横贯伊朗铁路线，1938 年，

波斯湾经由德黑兰至里海：1492 千米；

德黑兰 - 乔尔德线，1958 年，882 千米。

安哥拉：本格拉铁路，1928 年。

大西洋岸的洛比托湾至比属刚果的迪洛洛（扎伊尔）边界（1349 千米），与刚果已有的系统连接，并与北罗德西亚（赞比亚）和南非系统连接。

表 32.2　世界主要国家铁路的扩展与减少

国家	运行路线的总距离（千米）			
	1900 年	1920 年	1940 年	1960 年
巴西	②	28533	34252	37670
加拿大	②	63382	68502	70858
法国	36799	41600	40000	38857
德国①	51958	57698	59139	46899
英国	29039	32712	32552	30209
印度帝国	39835	59119	66234	—
印度共和国	—	—	—	56669
意大利	14375	16170	17858	16339
日本	6300	10437	18399	20403
南非	7005	16362	21863	21824
瑞典	11304	14869	16610	15219
瑞士	3599	5737	5222	5118
美国	311187	406941	376880	350114
苏联	44492	71597	106105	120000 ③

注：① 1960 年的数字包括民主德国和联邦德国。

② 统计数字没得到。

③ 估计数字。

参考书目

Ahrons, E. L. *British steam railway locomotive 1825–1925.* Locomotive Publishing Co., London. 1927.

——. *British railways track.* Permanent Way Institution. London. 1943.

Bruce, A. W. *Steam locomotive in America.* Norton, New York. 1952.

Chapelon, A. *La Locomotive a vapeur.* J. B. Baillière et Fils, Paris. 1938.

Cox, E. S. *British Railways standard steam locomotives.* Allan, London. 1966.

Ferguson, T. *Electric railway engineering.* Macdonald and Evans, London. 1955.

Gairns, J. F. *Locomotive compounding and superheating.* Griffin, London. 1907.

Hinde, D. W., and Hinde, M. *Electric and diesel-electric locomotives.* Macmillan, London. 1948.

Johnson, R. P. *The steam locomotive.* Simmons-Boardman, New York. 1942.

Meeks, C. L. V. *The railway station.* The Architectural Press, London. 1957.

Nock, O. S. *British Railway Signalling.* Allen and Unwin, London. 1969.

——. *British steam railway locomotive 1925–1965.* Allan, London. 1966.

——. *Locomotion.* Routledge and Kegan Paul, London. 1975.

——. *Railways of Australia.* A. and C. Black. 1971.

——. *Railways of Canada.* A. and C. Black, London. 1973.

——. *Railways of Southern Africa.* A. and C. Black, London. 1971.

——. *Railways of Western Europe.* A. and C. Black, London. 1977.

Phillipson, E. A. *Steam locomotive design: data and formulae.* Locomotive Publishing Co., London. 1936.

Well, Pierre. *Les chemins de fer.* Larousse, Paris. 1964.

第33章 飞机和飞行

彼得·W. 布鲁克斯(PETER W. BROOKS)

789

33.1 第一批实用飞机

19世纪，固定翼短距离滑翔飞行获得成功(第V卷，第17章)。固定翼飞行不同于更为流行的扑翼、旋转翼或浮力等方式。千余年来，感兴趣的理论家和实验者们一直进行着这种试制，然而在19世纪以前并没有什么实际的成果。1809年，英国人乔治·凯利爵士(Sir George Cayley)实现了载人滑翔机的稳定飞行。此后40年中，他至少还试验了另外两架滑翔机。19世纪结束以前，德国人李林达尔(Otto Lilienthal)和他的几位追随者曾用各种类型的滑翔机，进行了数千次可操纵的飞行。大约在同一时期，另一种固定翼面飞行器——风筝，首次被用于实用目的(气象观察和军事侦察)，这主要是澳大利亚人哈格雷夫(Lawrence Hargrave)于1892年发明的改进型箱式风筝的结果。小型风筝已有2500年的历史(起源于中国)，大型风筝偶尔用来载人业已达500年之久。

于是，20世纪初出现了由风筝和滑翔器发展而来的飞机构架，并和1886年后为公路运输的需要而研制成功的内燃机(第40章)结合起来。事后看来，这样的发展是必然的。使这种结合最先获得成功的代表人物是美国人威尔伯·莱特(Wilbur Wright)和奥维尔·莱特(Orville Wright)兄弟。尽管同时期有些人也考虑这样做，

甚至想迈出这决定性的一步，其中包括美国人兰利(S. P. Langley)，他在1898年曾接受美国政府5万美元的补贴，但都未获得成功。莱特兄弟仅仅依靠他们自己的有限资金和技术资料，于1903年12月17日在美国北卡罗来纳州的基蒂霍克第一次成功地进行了持续的可操纵动力飞行。

莱特兄弟1903年的“飞行者号”(Flyer)飞机(图33.1)装有12马力的汽油发动机，借助强风在导轨上起飞，它只能在地势平坦的上空做短距离直线飞行。翌年，兄弟两人在俄亥俄州距代顿不远的地方继续试验，进行了多次飞行，包括两次大约5分钟的飞行。他们所用的这架经过改进的飞行器，是由一个简单的弹射器帮助起飞的。1905年的“飞行者3号”飞机曾进行了大量的环形飞行，包括一次持续38分钟、行程24英里以上的飞行。实用的飞机终于问世了。

791

莱特兄弟对他们早期的研制工作持保密态度，并没有引起公众的

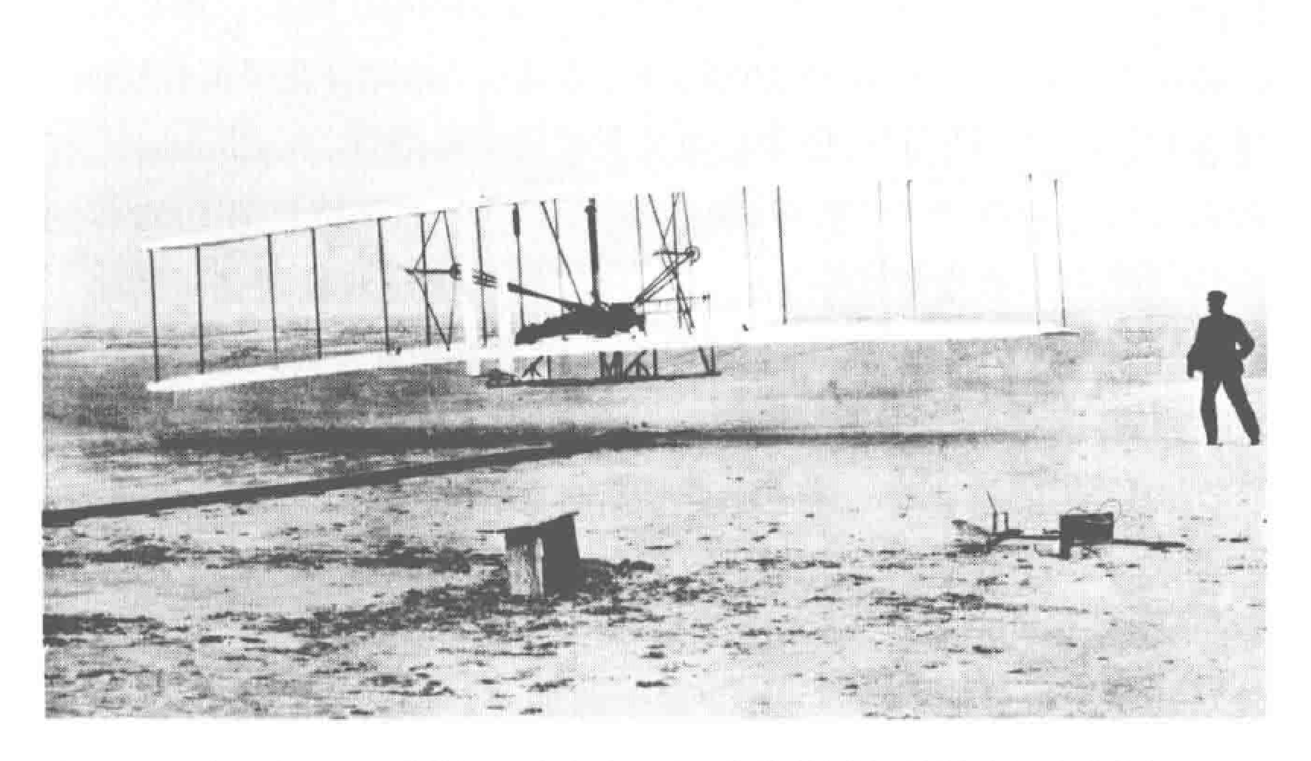


图33.1 1903年12月17日，莱特的“飞行者号”飞机进行首次持续的可操纵动力飞行获得成功。

注意。另外，他们在1905年取得最终成功之后，又中止飞行近3年之久。直到1908年，他们的飞机进行了公开表演，其成就才被普遍承认。与此同时，其他实验者在某种程度上由于缺乏有关莱特兄弟研制情况的资料，遵循着不同的研究路线。

莱特的“飞行者号”飞机成功地把极轻、强有力的推力系统同有效的飞机构架结合起来。“飞行者号”飞机装有一台汽油发动机来驱动螺旋桨。这种办法许多飞艇和飞机的实验者们在19世纪后期都曾试验过，但莱特的飞机使用了更有效的低速螺旋桨。然而这些螺旋桨仍有叶片重复和长链传动等缺点。莱特的飞机构架具有明显的先进性，因为它首次装上了灵敏的绕3个轴转动的操纵系统，特别是有能操纵飞机侧向飞行的机翼扭转。其不足之处是带有前置升降舵的无尾机型会使飞机不稳定，飞行困难。另外，滑橇起落架也不能令人满意，起飞时需要起飞导轨，通常还要另加弹射器。

欧洲及北美的其他实验者虽然避免了莱特设计中的缺点，但他们设计的推进装置和操纵装置最初也未能令人满意。加布里埃尔·瓦赞（Gabriel Voisin）和查尔斯·瓦赞（Charles Voisin）兄弟、布莱里奥（Louis Blériot）以及较为逊色的欧洲许多其他先驱者（几乎都在法国），还有“航空实验协会”，特别是包括北美的柯蒂斯（G. H. Curtiss），都做出了自己的设计。尽管开始时这些设计仍不如莱特兄弟1908年的设计，但他们很快就后来居上。莱特兄弟的无尾双翼机在短暂的上升期间（至1910年止），四处表演。莱特兄弟和承包商共制造了大约30架飞机。

1906年10月23日，巴西人桑托斯–杜蒙（Alberto Santos-Dumont）在欧洲进行了第一次尝试性的动力飞行。然而他的尾翼前置式的双翼机很不理想，对进一步发展没什么贡献。欧洲更有意义的进展是瓦赞兄弟和布莱里奥带来的。瓦赞兄弟的标准型（Standard）推进式双翼机第一次在1907年出现。布莱里奥倡导牵引式单翼机，他于1909年7

月 25 日亲自驾机进行了激动人心的表演，第一次飞越了英吉利海峡。瓦赞的标准型是首批投入正规生产的飞机（制造了 100 多架）；而布莱里奥的跨海峡 XI 型机的各种改进型亦大量售出。

瓦赞的双翼机不断得到改进，法尔芒（Henri Farman）的改进尤为突出。法尔芒是英国人，在法国定居，他也许是飞行先驱者中最伟大的。1908 年末，法尔芒在瓦赞的双翼机上装上副翼，而在此之前这种飞机是依靠舵作侧向飞行、控制方向的。很快法尔芒就进行了不寻常的飞行，包括首次的横穿全国的飞行。1909 年，他精心制造的法尔芒Ⅲ型飞机（图 33.2）在性能和实用性方面都创下了新的标准，并确定了推进式双翼机的固定机型，这种机型不久就被广泛地效仿。

布莱里奥的单翼机同样被仿造，各种各样的外支撑单翼机和伞式单翼机同更多的双翼机一样被投入使用。当时有外支撑的单翼机在空气动力学特性上不如双翼机优越，而且在结构上也往往存在不坚固或比较笨重的缺点。几年后，这种单翼机的声誉有所下降。但再过若干

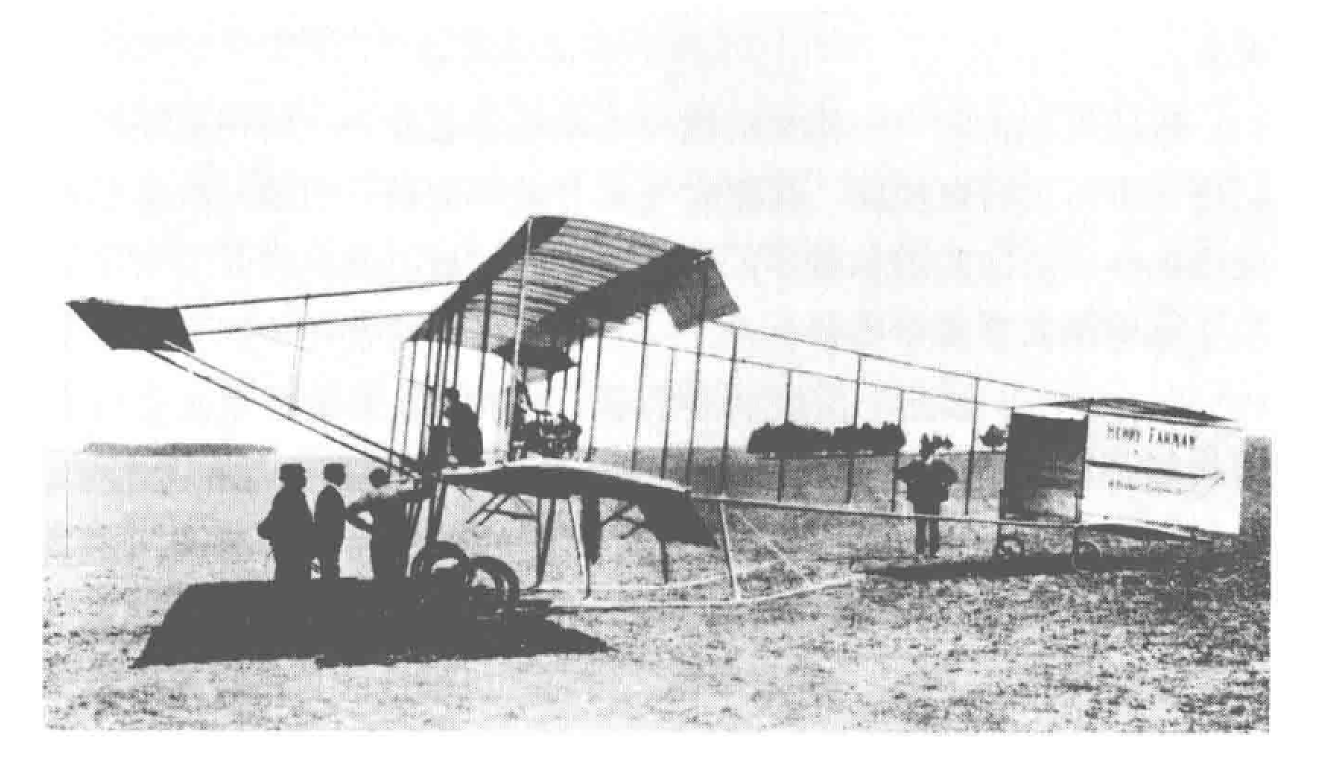


图 33.2　欧洲制造的最早真正实用的飞机之一——法尔芒Ⅲ型飞机（1909 年），为推进式双翼机确立了最后机型。

年后，这种机型又以新的形式复活。这时，推进式双翼机同单翼机的牵引式发动机相结合，形成一种全新的机型，这就是牵引式双翼机。首批试验性样机应归功于费伯（F. Ferber）（1905年）、德皮朔夫（A. de Pischof）（1907年）和吉皮（A. Goupy）（1909年）。首架实用飞机是由布雷盖（Louis Breguet）于1909年设计的。从1910年起，牵引式双翼机具有明显的优势，成为飞机制造业的主流，并一直保持了20年之久。

发动机的研制为这一时期飞机制造业的发展做出了重要贡献。做出这种贡献的主要是法国，其次是德国。许多早期的航空发动机源自汽车使用的发动机。这一时期最重要的一种发动机或许要属全新的气冷转缸发动机。1907年，塞甘（L. Seguin）研制出第一台可以使用的样机。这种发动机一直沿用到20世纪20年代。几乎具有同样重要性的发动机还有水冷单排直列式发动机和气冷、水冷V型发动机。前者以德国梅塞德斯（Mercedes）的研制最为著名，后者以法国的雷诺（Renault）和西班牙的依思帕诺－苏伊萨（Hispano-Suiza）的研制最为著名。

1914年以前，飞机构架的设计不断迅速进步——结构更坚固和轻巧、所用材料更优质、利用空气动力效率更高，而第一次世界大战则提供了新的刺激和更多的财源。这时，航空研究和开发费用几乎全部在国防预算中支付，以后一直如此。在这些年中，人们还看到（特别是在少数几个国家的政府研究机构中）姗姗而来的空气动力学理论的发展及其首次与实际设计的结合。英国人兰彻斯特（F.

793

W. Lanchester）于1897年已为空气动力学的理论奠定了基础。在第一次世界大战期间，德国人普朗特（Ludwig Prandtl）和贝茨（Albert Betz）对这一学科做出了重大发展。然而飞机设计的具体实践很大程度上在许多年里仍然依赖经验。

33.2 军用飞机

到1914年8月战争爆发时，所有列强的军方都懂得飞机在军事上潜在的重要性，并都已组成海陆军的航空支队。在此之前，在意土战争（1911—1912年）和巴尔干战争（1912—1913年）中，已小规模地使用过飞机。

第一次世界大战注定对飞机的研制有着深远的影响：航空技术一夜之间成了国家军事潜力的一个重要部分。到1914年，在制造经验和飞行经验都很缺乏的情况下，全世界仅制造出大约5000架未定型的、不太完善的试验性飞机。但到大战结束时，飞机的设计、制造和使用是在坚实的经验基础上进行的；这时已建造了近20万架飞机，并有了几十万小时的飞行记录。

然而，在第一次世界大战时期的大部分飞机设计中，进步是很有限的，只有极少数明显例外。飞机的大小、重量以及发动机的功率和可靠性方面虽有所进展，但在最通用的制造方法上仍没有很大改变。利用空气动力学性能的提高微乎其微。无疑，这主要是因为当时的重点是放在大规模生产已验证过的设备上。

1914年，被迫投入军事使用的所有飞机几乎都是非武装的双座飞机，重量为1500—2000磅（700—900千克），时速为70—80英里（110—130千米），飞行半径在100英里（160千米）以内，有效高度为1万英尺（3000米）。这些双座飞机都被用于侦察目的。起初，最重要的飞机有法国的瓦赞Ⅲ型飞机、德国的阿尔巴特罗斯（Albatross）C. Ⅲ型飞机，以及由英国政府皇家飞机工厂设计的英国B.E.2c飞机。

少量双座机（主要是推进式机型）在1914年以前已配备了机枪，并断断续续地投入空战。单座的“侦察机”最初是为非武装侦察设计的，第一架这种飞机是皇家飞机工厂制造的B.S.1机（1913年），由德·哈维兰（G. de Havilland）设计。这种飞机如果装上作战武器，就

很适于空战。1915年4月，一名出色的法国飞行员加罗斯(Roland Garros)在驾驶一架装有机枪的莫拉纳-索尼埃(Morane-Saulnier)N型单翼机时击落了数架敌机。机枪子弹穿过螺旋桨盘向前射出，旋转的螺旋桨叶片由子弹偏导器保护。在该月稍后时间，加罗斯迫降于敌国境内，德国人迅速仿效他的飞机，在福克E1战斗机上安装能向前开火的机枪，并用断续齿轮射击协调装置来保护旋转中的螺旋桨。从1915年8月起，由于伊梅尔曼(Max Immelmann)的出色飞行，E1机成为首批可以有效作战的战斗机，并使德国人取得了"制空权"。这种福克战斗机当时大约只建造了400架，有4种机型；到1916年6月，这种被称为"福克灾星"的战斗机已明显地在空战中显示出重要作用。

协约国对此做出反应。他们使用纽波特(Nieuport)11型和17型、德·哈维兰D.H.2型和皇家飞机厂生产的F.E.2b型等机种对付德国的福克机。这些飞机使协约国很快便取得了空中优势，可是这种优势只维持到1916年后半年。1916年9月，德国人接受了第一位伟大的战斗机队长伯尔克(Oswald Boelcke)的建议，采用了战斗机中队(Jagdstaffeln)的编队法。尤其在配备了阿尔巴特罗斯D.Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ系列机后，这种编队法使战局又一次有利于德方；在1917年的"血腥四月"(Bloody April)中，协约国飞机蒙受惨重损失。德国的空中优势达到了顶点。然而至7月，协约国制造出了新一代的战斗机，其中包括贝舍罗(L. Béchereau)的斯帕德(SPAD)S.7型、索普威思(Sopwith)的小海豹(Pup)和三翼机(Triplane)，又夺回了空中优势。以后，尽管德国人采用福克Dr.I三翼机和更优良的阿尔巴特罗斯D.V型飞机，都未能挽回颓势。德国人的这类飞机一直服役至战争终结。

1917年，协约国方面出现了火力更强的战斗机，其中包括英法各有的3种著名战斗机。英国的机型是：巴恩韦尔(Frank Barnwell)的布里斯托尔(Bristol)F2B型、福兰德(H. P. Folland)的

皇家飞机厂 S.E.5 型和史密斯（Herbert Smith）的索普威思“骆驼”（Sopwith Camel）机。法国的机型是：纽波特 24 型和 27 型，斯帕德 S.13 型。单座战斗机这时至少已配备了两挺固定的前射机枪，时速已增至 110—125 英里（180—220 千米），有效飞行高度近 2 万英尺（6000 米）。尽管德国人这时大规模采用强有力的战斗机飞行大队（Jagdgeschwadern）的编队法，并从 1918 年 5 月起使用由普拉茨（Reinholt Platz）设计得十分成功的福克 D. Ⅶ战斗机，但协约国使用的上述飞机仍然使其空中优势保持到 1918 年 11 月停战为止。此时，战斗机已介入地面战斗，被广泛用于“对地扫射”。空战主要在西线，并有广为宣扬的“王牌飞行员”。战斗机飞行员的成就和名声是以其击落飞机的数量来衡量的。最为卓著的有：德国人冯·里希特霍芬（Manfred von Richthofen），80 架；法国人方克（René Fonck），75 架；英国人曼诺克（Edward Mannock），73 架。

795

战前，飞机轰炸业已出现，但不成规模。而战时，把炸弹投到战场，并直接投到敌后，对“前线战壕”已基本固定下来的交战双方来说已司空见惯。德国人使用硬式飞艇深入敌方领地轰炸战略目标，而协约国一方则首次进行远程袭击，轰炸德国人的飞艇基地。随着战争的深入，专门的轰炸机被研制出来：有的主要用作白天作战的小型单发动机轰炸机，有的主要用作夜间袭击更远战略目标的较大型多发动机轰炸机。前者是由侦察机发展而来的，而后者则完全是新研制的，首批新研制的轰炸机是俄国人西科尔斯基（Igor I. Sikorsky）的 IM 系列轰炸机，这是根据战前的设计研制出来的[1]。

796

第一次世界大战时，飞机成为陆军地面作战的重要辅助力量，而

1 在两类轰炸机中，最著名的是：

轻型轰炸机：法国的瓦赞Ⅲ型（1914 年）、瓦赞Ⅷ型和瓦赞 X 型（1916 年），以及布雷盖 XIV 型（1917 年）；英国的德·哈维兰 D.H.4 型（图 33.3）（1917 年）、D.H.9 型和 D.H.9A 型（1918 年）；德国的 D.F.W.C.V 型（1917 年）。

重型轰炸机：意大利的卡普罗尼 Ca32 型（1915 年）、Ca33 型（1916 年）和 Ca46 型（1918 年）；英国的汉德利·佩奇 0/100 型（1916 年）和 0/400 型（1917 年）；德国的哥达和腓特烈 G 型（1917 年），斯塔肯型（1916 年），以及西门 - 沙克特 R 型“大力士”（1917 年）。



图 33.3　德·哈维兰 D.H.4（1917 年）是第一次世界大战中最成功的轻型轰炸机，后被改造成欧美应用最广泛的先驱性民用运输机之一。

在海战中的作用则小些。1917 年春，双方以远距离的轰炸战略目标把空军发展成独立的空中作战力量。较出名的有德国的第三轰炸机大队、英国的皇家海军航空队（41 中队）和皇家空军的独立部队。这一发展是著名的南非军人政治家斯穆茨（Jan Christian Smuts）向政府作出提议的一个重要组成部分，正是由于他的提议，英国皇家空军于 1918 年 4 月 1 日首次组成独立于其他军种的空军部队。之后，虽然在两次大战之间由于政治和经济的压力，皇家空军几乎濒于解散，但仍幸存下来，为其他国家设立类似军种提供了一个模式。

那时飞机在海战中的作用虽小但却日益增加。水上飞机从海岸基地起飞进行海岸巡逻，或从水上飞机母艇起飞袭击地面目标或海上目标。1915 年 8 月 12 日，一架英国的肖特（Short）184 水上飞机第一次发射鱼雷击中了一艘船。飞艇成为最重要的以海岸为基地的沿海飞机，特别是在英国的费利克斯托由波特（J. C. Porte）研制的那些飞艇

(最初是由美国的柯蒂斯设计的)。在战争后期，陆上飞机开始从海上舰艇起飞：最初是从原始的飞行平台起飞；接着在飞行范围内，返回时或在海面迫降，或在海岸基地着陆。1917—1918年，进行了利用船上甲板降落飞机的试验。第一次世界大战结束前一个月，第一艘全甲板航空母舰——英国皇家海军百眼巨人(Argus)航空母舰被编入现役。舰上载有一个中队的陆上飞机——索普威思布谷鸟(Sopwith Cuckoo)鱼雷轰炸机。虽然航空母舰在第一次世界大战中尚未出现，但在第二次世界大战中却发挥了重要作用。

33.3 飞艇

"飞艇"又称"可操纵的气球"，是装有发动机的，借助比空气轻的上升气球飞行航空器，在19世纪下半叶首次进行实验性飞行(第V卷，边码400)。然而像飞机一样的实用飞艇，不得不等待汽油发动机的到来。德国人沃尔弗特(Karl Wölfert)在1888年把一台早期的戴姆勒(Daimler)汽油发动机安装到一艘飞艇上；但是第一艘真正可用的飞艇直到1902年11月13日才开始飞行，这艘飞艇是法国勒博迪(Lebaudy)兄弟的农牧神(Le Faune)飞艇，设计者为朱里奥(H. Julliot)和西莫尼(D. Simoni)，它比莱特兄弟飞机的首次飞行只早了13个月。

勒博迪的飞艇是一种压力飞艇，即它有一个充氢气的气囊，像一个拉长了的气球，用泵不断地把空气注入内部副气囊以提供小的内压力，使气囊保持其外形。飞艇外囊下的吊索上挂着一根长梁，吊住下面的发动机和吊舱。吊舱的特色表明勒博迪飞艇是一种半硬式飞艇(以区别软式飞艇)，它的发动机和吊舱或直接吊在气囊下，或直接与气囊相连接。勒博迪飞艇具有实用性，因为它是可操纵的，还因为它的40马力德国戴姆勒发动机可使其时速达到25英里(40千米)。这样的速度正好可在一个无风的日子穿越整个法国。1903年11月12

日，这艘飞艇从穆瓦松飞至巴黎，共飞行32英里，历时1小时41分。该飞艇是在穆瓦松建造的，曾停放在巴黎机械馆供公开展览。后来，这艘具有历史意义的飞艇被损坏，几经重建、加大、改造，最后交付法国军队使用，一直服役到1909年。

意大利人诺比莱（Umberto Nobile）虽然在20世纪20年代曾用半硬式飞艇进行过多次尝试和若干次引人瞩目的开拓性长距离飞行，并且还于1926年驾驶“诺尔格”（Norge）飞到了北极，但由于大型压力飞艇效率较差，因此难以成为有竞争优势的运输工具，也不会被用作攻击性的武器。1900—1960年间，生产了大约800架压力飞艇。这类飞艇主要被用作军事侦察（意、法、德）、反潜巡察（英、法、美），或用作商业广告（美、德）。几乎所有飞艇的容积都不到45万立方英尺（1.3万立方米），总升力在3万磅（1.4万千克）以下。大部分飞艇都是较小的，其容积通常还不到上述容积的一半。

在两次大战期间，主要由意大利人建造的半硬式飞艇，以及后来由美国人固特异（Goodyear）建造的海军软式飞艇都是较大型的。美国人的飞艇（1958年的ZPG-3W级飞艇曾被用作雷达哨）最后有少数容积达到150万立方英尺（4.2万立方米），总升力约达9万磅（4.1万千克），最大时速近80英里（130千米）。这样级别的大小和性能（实际上还有比它大得多的）是由硬式飞艇提供的，它们基本上不同于压力飞艇。前者具有大得多的外形，还有长圆筒形或雪茄形的外壳，其构架为轻金属合金或木料，外覆蒙布，内装分隔气囊多达21个。

硬式飞艇的基本设计最初是在19世纪末由德国的一位退休将军齐伯林伯爵（Count Ferdinand von Zeppelin）做出的。他受到克罗地亚人施瓦茨（David Schwarz）早期方案的影响。1893年在俄国，1897年在德国，施瓦茨先后曾用硬式外壳建造飞艇，但都未成功。施瓦茨设计的飞艇没有气囊，飞艇上升气体是直接装在金属外壳内的。很多年

以后（1929—1941 年），美国海军曾以同样方法制造过由厄普森（R. H. Upson）设计的带金属外壳的 ZMC-2 飞艇，但这一设计未能得到进一步发展。飞艇发展的重要进程如下：798

（1）最初的齐伯林飞艇：1900 年的 LZ1，但失败了。

（2）第一艘真正成功的齐伯林飞艇：1908 年的 LZ4。

（3）进行较长时期商业运营的第一艘硬式飞艇：1911 年德国飞艇航空股份有限公司（DELAG）的施瓦本（Schwaben）飞艇。

（4）第一艘成功的 4 发动机硬式飞艇：1914 年木质的舒特朗茨（Schutte-Lanz）SL2 飞艇，采用了许多其他革新的设计。

（5）大量建造最早类型的硬式飞艇：1914 年的齐伯林海军 L3 级飞艇，其中有 12 艘曾在德国陆海军中服役。

（6）在军事行动中证明最有效的硬式飞艇类型：1915 年的齐伯林海军 L10 和 L20 级飞艇，共建造了 34 艘。

（7）在设计上代表了最大进步，并有最大发展潜力的硬式飞艇：1916 年的齐伯林海军 L30 级硬式飞艇（图 33.4），以后由此发展而来的 L59 级硬式飞艇。1917 年，这种飞艇曾作过一次往返中部非洲的 4200 英里（6760 千米）的出色飞行；英国的比尔德莫尔（Beardmore）R34 飞 799

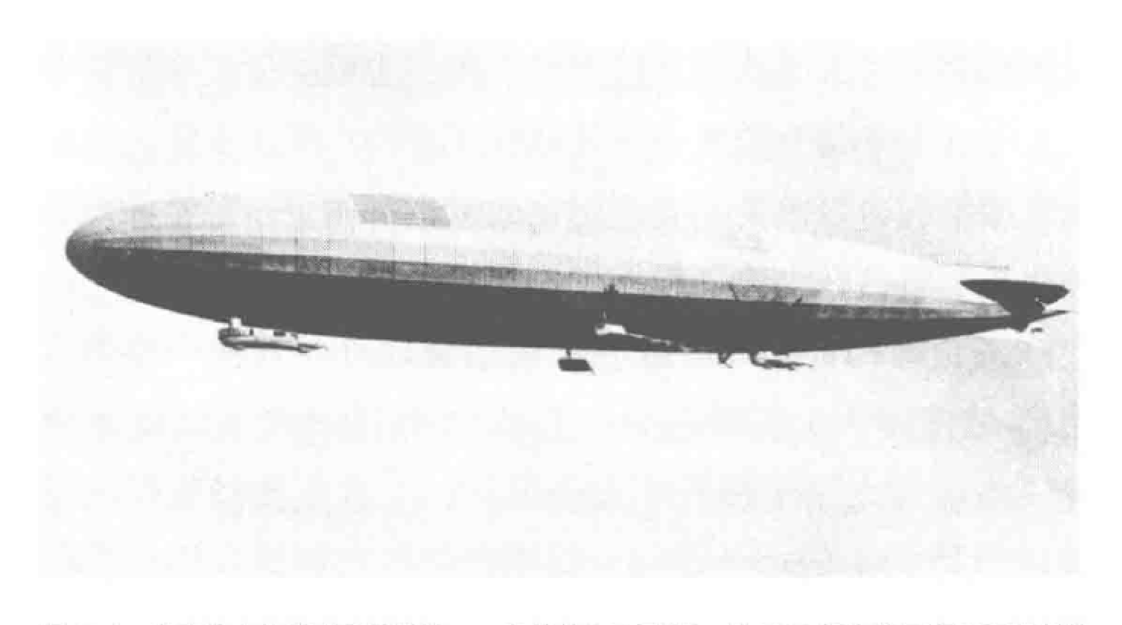


图 33.4　影响最大的硬式飞艇设计——齐伯林 L30 飞艇，是 1916 年为德国海军而研制的。

艇于1919年曾首次横越北大西洋往返飞行；1923年，出现了第一艘美国硬式飞艇谢南多厄(Shenandoah)，并首次使用非可燃氦气。

(8) 美国的“战争赔偿品”齐伯林飞艇：1924年的洛杉矶(Los Angeles)飞艇，这艘飞艇比其他任何硬式飞艇的寿命都要长，最后于1939年被毁坏。

(9) 最成功的飞艇，在1932—1937年间首次进行欧洲和南美间长途定期航行服务：1928年的“齐伯林伯爵号”(Graf Zeppelin)飞艇。

(10) 1924—1930年英国的硬式飞艇计划，目的是从空中把大英帝国连接起来：1929年私人企业建造的R100飞艇和政府建造的R101飞艇。

(11) 1928—1935年旨在提供远程海军侦察的美国硬式飞艇计划：1931年美国海军的固特异-齐伯林“阿克伦号”(Akron)飞艇和1933年的“梅肯号”(Macon)飞艇。

(12) 最后的硬式飞艇：1936年的齐伯林“兴登堡号”(Hindenburg)运输飞艇和1938年的“齐伯林伯爵号”II型飞艇，它们在1939年结束运行。

在1900年和1938年间，大约建造了160艘齐伯林型的飞艇。这些飞艇总飞行时间约8万小时。有一个时期，这类飞艇被认为在远程轰炸、侦察和运输方面均可胜过飞机。硬式飞艇的发展和运营主要经德国人之手，尤其是齐伯林公司及其联营机构。英国在第一次世界大战前和大战期间，以及英、美两国在战后也都做了一般性的此种研究开发计划，这些已在上述飞艇发展进程中作过说明。

硬式飞艇的积极倡导者除齐伯林伯爵以外，其他一些最重要的人物也都是德国人，具体包括：监督所有齐伯林飞艇设计的杜尔(Ludwig Durr)博士；采用若干先进设计、负责木质舒特朗茨硬式飞艇制造的舒特(Johann Schutte)；促使齐伯林飞艇最后用于军事目的的斯特拉瑟(Peter Strasser)海军上校(第一次世界大战的多数时间，

他在德国帝国海军服役，并担任海军飞艇部队长）；齐伯林协会的创始人逝世后该协会的主要推动者埃克纳（Hugo Eckener）博士，他也成为最成功和最著名的飞艇艇长。

飞艇的失败有若干原因，最重要的原因是在地面上难以控制，飞行速度低，飞不高，在不利的气候下容易损坏。许多飞艇（包括约40% 已建成的硬式飞艇）都在各种事故中毁掉了，特别是因高燃性的氢气而烧毁的。虽然这种危险以后通过普遍采用氦气（1921 年首先在美军的 C-7 软式飞艇上使用）而被消除，但事实证明，其他的缺陷仍是致命的。20 世纪 60 年代初，美国海军停止使用飞艇。自那时以来，仅仅极少量的软式小飞艇被保留下来，作为空中广告宣传之用。

800

33.4　航空运输的兴起

第一次世界大战前，飞机极不可靠，不能维持正规的定期飞行。使用飞行器载运旅客和货物进行第一次尝试的有：由德国飞艇航空股份有限公司经营的齐伯林飞艇载客观光飞行，旅客来自德国的许多城市（1910—1914 年）；“加冕典礼航空邮政”——由当时英国的格雷厄姆 - 怀特航空有限公司在亨登和温莎之间开辟的一条航线，专门递送邮件，是一种试验性的航空业务（1911 年 9 月 9—26 日）；圣彼得堡 - 坦帕飞艇航线，使用一艘贝诺伊斯特（Benoist）飞艇，在美国佛罗里达州定期载运旅客飞行（1914 年 1—2 月）。在大战即将结束，新的飞行器已变得更可靠时，欧洲和美国都曾进行了运送若干军事邮件和旅客的尝试，有些还持续了一年之久，但民间的航空运输是在战后才开始进行的。

最早的每日定期载运旅客的航班业务可能始于德国。德国的里德赖航空公司（Deutsche Luft Reederei）从 1919 年 2 月 22 日起开辟了柏林、莱比锡和魏玛（以后又延伸至汉堡）之间的航班，持续了 5 个多月。英、法、美相继效仿德国。一家英国公司从 1919 年 8 月 25 日

开始在伦敦和巴黎之间开辟定期国际航班业务，运行了16个月之久。英国人托马斯(G. Holt Thomas)于1916年创建了航空客货运输有限公司，后来还组织了“国际空运协会”，这是国际航空公司的权威性组织“国际航空运输协会”(I.A.T.A.)的前身。

第一架运输机是由经过验证的军用机改装的，即将轰炸机略加修改后用作客机。以后出现了新的民用机型，但基本上还是沿着军用飞机的设计路线发展。从这时开始，绝大多数民用飞机的设计都紧紧追随由军方提供经费的研究所走的路线。这种做法一直延续至今，这是必然的，因为所有航空研究和开发的绝大部分经费是由国防预算支付的。

801

20世纪20年代的班机多数是双翼机。尽管20年代末在飞机构架的结构方面已开始用钢材和硬铝取代木材，但按照莱特飞机的传统，这些双翼机仍用木材、金属丝和纤维编织物制造。同时也有少量全金属的德国容克(Junkers)低单翼机在使用。荷兰的福克(Fokker)高单翼机是木质机翼，机身是钢管焊接，并覆以蒙布。受其启发而产生的著名机型有美国福特的三引擎(Tri-Motor)全金属飞机、意大利的萨沃耶-马凯蒂(Savoia-Marchetti)低单翼机等。

最初的民用飞机多数是单发动机的，只有少数是以更高的费用从多发动机的军用机改制而成。当时发动机还不大可靠，多发动机的飞机发生迫降的风险系数要大得多，因为这种飞机各个发动机都有可能出毛病，如果坏掉一个，飞机就不能继续飞行。后来，多发动机的飞机才切实增加了安全性和可靠性。首先投入使用的三引擎的飞机是在20世纪20年代中期出现的福克F.VIIA-3m飞机(图33.5)。

另一个同样重要的问题是研制更可靠、更耐用的航空发动机。20世纪30年代初，民用飞机发动机的检修间隔时间从战后不久的150—200小时提高到400—500小时，因而有助于降低经营费用。军用飞机的检修时间不管是过去还是以后仍然比民用的要短得多。首先在英国、后来在美国出现的气冷辐射式发动机［布里斯托

802



图 33.5　福克 F.VIIA-3m 是世界各国广为使用的第一架实用型多发动机运输机，1925 年。

尔的“木星”(Jupiter) 发动机和西德利 (Armstrong Siddeley) 的“美洲豹”(Jaguar) 发动机］具有特殊的重要性，从 20 世纪 20 年代后期开始，它们普遍为民用机和军用机所采用。

战后最初 10 年，欧洲在空中运输的发展中处于领先地位。从 1919 年开始，较大的欧洲国家都有几家小航空公司。然而这些先驱性公司不久便发现，在和水陆运输的竞争中，现有的飞机运输量和收费标准都太低了，经营无利可图。实际上，收入大约只够支付 10%—12% 的开支，需靠政府的补贴才能维持下来。

第一批国家航空公司也于此时成立。其中最早的是荷兰皇家航空公司 (KLM)(1920 年) 和比利时航空公司 (SABENA)(1923 年)。英国的帝国航空公司 (1924 年) 和德国的汉莎航空公司 (Lufthansa)(1926 年) 是由初期的一些航空公司合并而来的。至 1930 年，欧洲的航线已发展成一个由政府补贴、遍及整个大陆的广泛航空

运输网，欧洲的航运界在殖民地开办航空业务，或把殖民地或其他海外领地作为其业务对象。早期欧洲在世界边远地区的著名航线有：法国至北非的航线（1919年）、在南美开辟的航线（1919年）；比利时在刚果的航线；德国在南美的航线（1921年）和在波斯的航线（1925年）；英国开辟的由埃及至波斯湾的航线（1927年）和由欧洲至印度的航线（1929年）；等等。

奇怪的是，美国航空运输的发展如同它在第一次世界大战期间的军事航空一样，直到20世纪20年代都落后于欧洲。从1918年至1927年，美国最重要的航空业务是由邮政局经管、资助的航空邮政业务。1925年《凯利法案》(*Kelly Act*)通过后（该法案规定政府不应

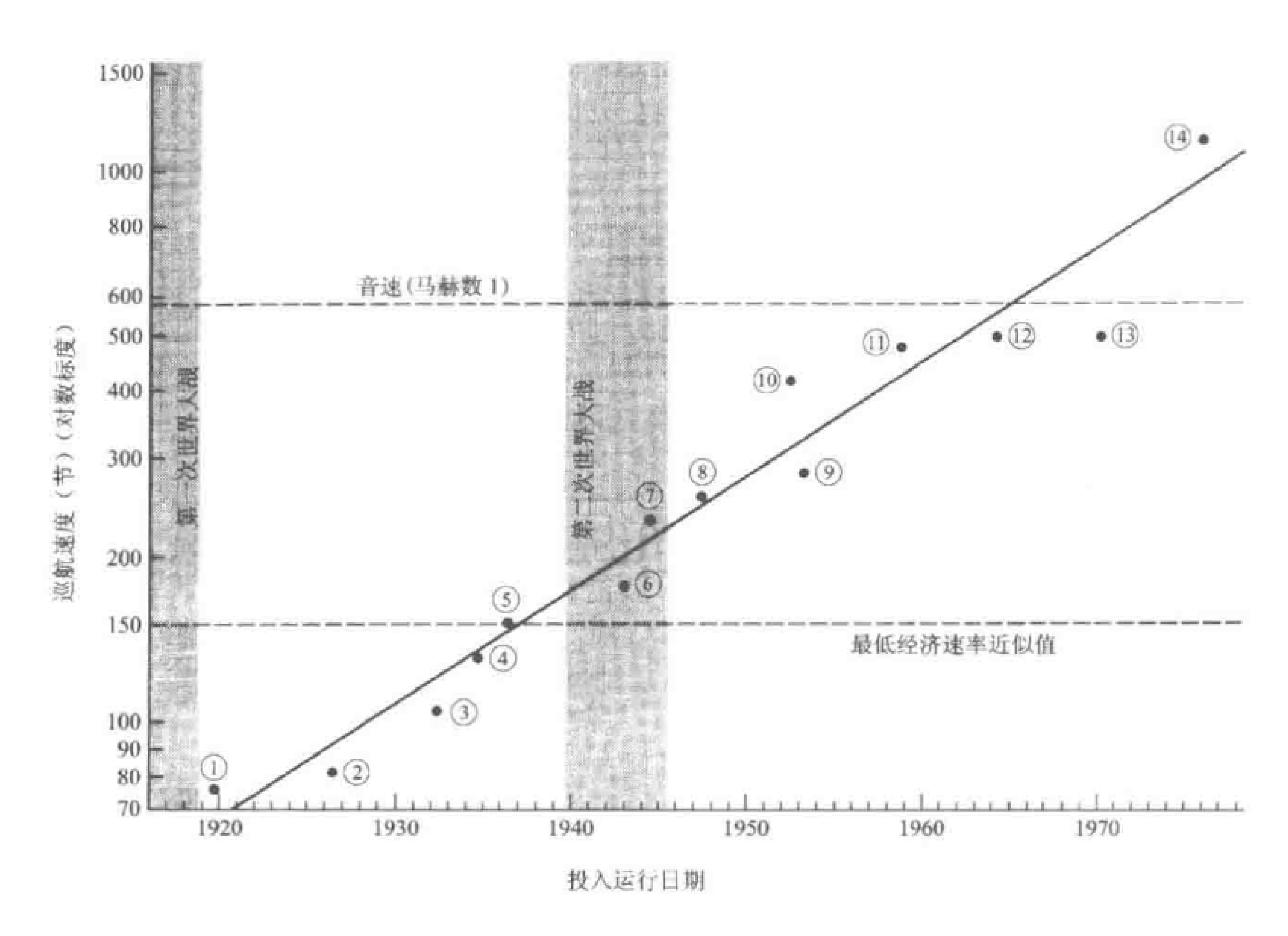


图33.6　运输飞机巡航速度发展趋势。

① 德·哈维兰 DH.4A　② 福克 F.VII-3m　③ 容克 Ju52/3m　④ 洛克希德 L.10
⑤ 道格拉斯 DC-3　⑥ 道格拉斯 DC-4　⑦ 洛克希德 L.049　⑧ 道格拉斯 DC-6B
⑨ 维加 V.700　⑩ 彗星Ⅰ号（Comet I）⑪ 波音 707　⑫ 波音 727
⑬ 波音 747　⑭ 协和式（Concorde）

从事私营业务），得到政府补贴的私人承包商才接办航邮业务，并扩展邮政网。新航线不仅载运邮件，而且也载运旅客。一切从头开始，业务迅速扩展。1926年，美国的定期旅客航空运输还微不足道，而从那时起至1929年，它比第二大航空运输国家（德国）载运量还多1/3。也就在那时，出现了4个大航空公司集团，它们支配着美国的国内航线，此外还有经营国际航空业务的泛美航空公司。

1930年，欧洲航线所使用的飞机尽管比大战刚结束时在设计上已有很大改进，但仍在使用旧式的双翼机和容克及福克的单翼机。飞

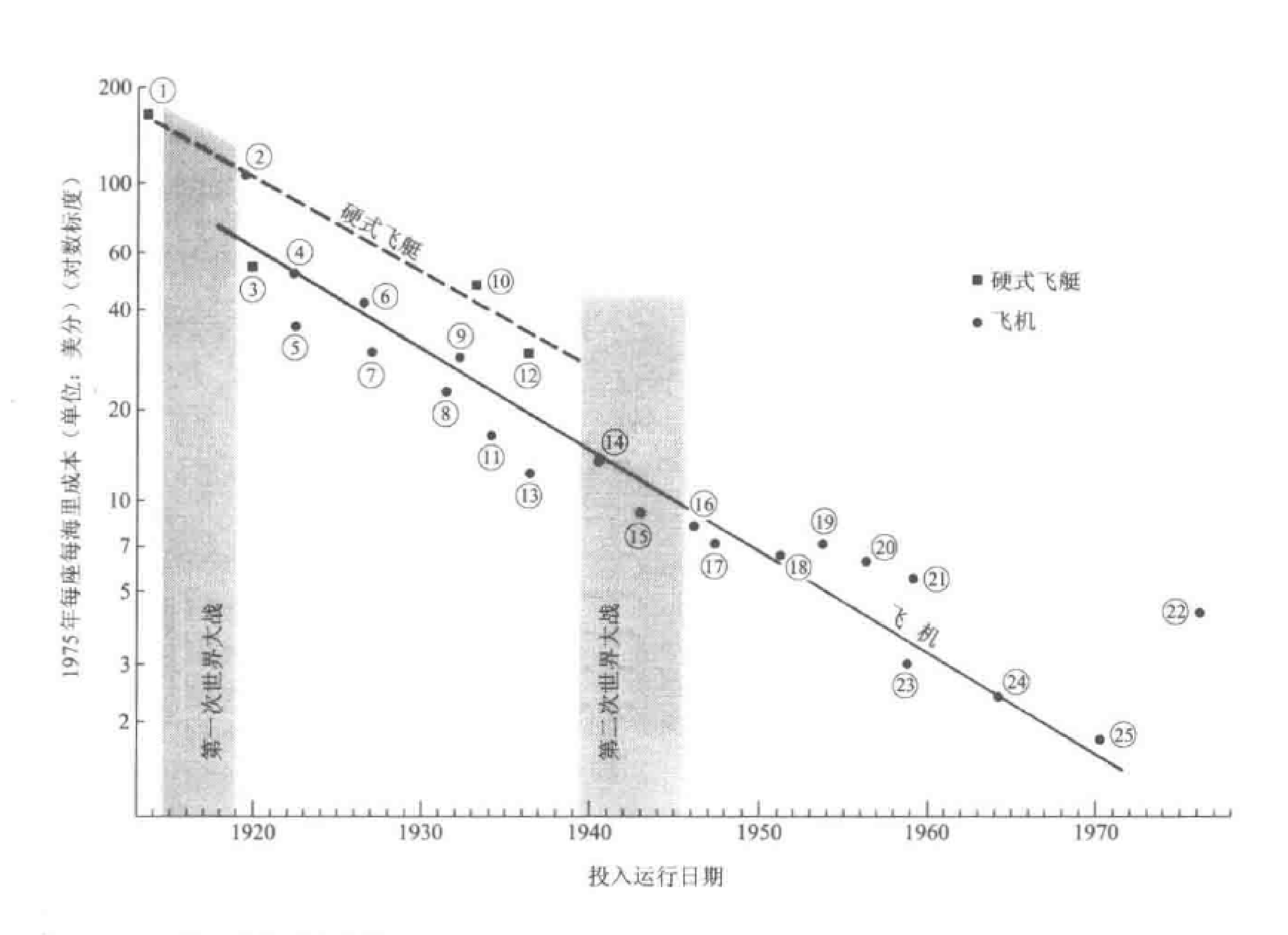


图33.7 运输机营业开支趋势。
① 德国飞艇航空股份有限公司（Delag） ② 德·哈维兰 DH.4A ③ 齐伯林飞艇 LZ.120
④ 德·哈维兰 DH.34 ⑤ W.8B ⑥ 福克 F.VII-3m ⑦ 福特三发动机飞机（Ford Trimotor）
⑧ HP.42 ⑨ 容克 Ju52/3m ⑩ 齐伯林飞艇 LZ.127 ⑪ 洛克希德 L.10
⑫ 齐伯林飞艇 LZ.129 ⑬ 道格拉斯 DC-3 ⑭ 波音 307 ⑮ 道格拉斯 DC-4
⑯ 洛克希德 L.049 ⑰ 道格拉斯 DC-6 ⑱ 道格拉斯 DC-6B ⑲ 维加 V.700
⑳ 道格拉斯 DC-7C ㉑ 洛克希德 L.188 ㉒ 协和式（Concorde） ㉓ 波音 707
㉔ 波音 727 ㉕ 波音 747

行速度虽然增加不多(图 33.6)，但在可靠性和安全性方面已有巨大进步。票价平均每英里已减少约 1/3，但经营费用(图 33.7)也已下降，因而收入大约可支付 25% 的开支。美国航空公司经营得更好些。1930 年，其收入大约可支付 30% 的开支。在欧洲和美国，一些最成功公司的收入可支付 50%—60% 的开支。

33.5 通用航空：私人飞行和滑翔

德·哈维兰设计的英国“飞蛾”(Moth)飞机(图 33.8)是最早广为使用的轻型飞机。这是一种用木材、金属丝和布制造的常规双座双翼机，使用一台 60 马力、4500 立方厘米的锡拉斯(Cirrus)发动机。它首次飞行是在 1925 年 2 月 22 日，最初售价为 650 英镑。在英国，“飞蛾”被用来开展由国家补贴的飞行俱乐部活动。这种做法后来



图 33.8　德·哈维兰的“飞蛾”是最早广为使用的轻型飞机(1925 年)，英国起初用于私人飞行和俱乐部飞行训练。

为许多国家所仿效。当时造了约2000架“飞蛾”，接着又造了9200架改进型号，称为“灯蛾”（Tiger Moth），后被广泛用于军事及民用训练。同英国“飞蛾”轻型机具有同等重要意义的是德国人克莱姆（Hanns Klemm）的木质悬臂下单翼机。他的L.25机在1927年作为超轻型双座机出现。后来这种飞机因装上更大马力的发动机而得以被大量销售，于是其他制造商竞相制造出许多与该类型相似的飞机。

美国有两种先驱性的轻型飞机特别重要：一种叫“艾龙卡”（Aeronca），1928年出现的是C-2单座机，1930年是C-3双座机（售价1550美元）；另一种是1930年泰勒（C. G. Taylor）的E-2“小熊机”（Cub）（售价1325美元），这种飞机后来发展为“小熊派珀”（Piper Cub）和“泰勒机”（Taylorcraft）以及英国的“奥斯特”（Auster）系列。“小熊机”和改进型的“超级小熊机”（Super Cub）被大量制造（3.7万架），后者仍被继续生产。“艾龙卡”和“小熊”这两种轻型飞机都是上单翼机，前者的木质机翼由钢丝牵拉，再以布质蒙皮，装在木质蒙皮的钢筒机身上；后者的木质机翼（后来改用金属）由支杆支撑，再以布质蒙皮，装在筒状的机身上。

1934年，美国的勒斯科姆（D. A. Luscombe）最早把薄壳全金属轻型飞机投入生产。大约与此同时，这种结构形式开始用于较大型的飞机。而直到第二次世界大战之后，轻型飞机才普遍采用全金属结构。在此之前，美国在战争期间大批生产了全金属的教练机。

从20世纪30年代初起，对轻型飞机发展有重要意义的是气冷卧式对置活塞发动机，尤其是数量众多的美国莱康明发动机和大陆发动机。而先前的立式和倒缸的气冷单排直列式发动机，在20世纪20年代和20世纪30年代的欧洲特别流行。

在这一期间，除轻型飞机外，还有种类繁多的专用通用航空飞机，包括为空中测量而专门设计的飞机；为遥远地区（如加拿大气候恶劣的“冰冻的北方”）设计的耐用型可改装的陆上-海上-雪上飞机；为

海岸和内陆湖海而设计的水上飞机和水陆两用飞机；专门的体育运动飞机和竞赛飞机；另外还研制了轻型运输飞机供政府机关或航空公司租赁使用。

806

在两次大战的间隔期曾举行过多次飞行比赛。这里应该提到“施奈德优胜杯”(Schneider Trophy) 水上飞机比赛(1919—1931年)，它有力地促进了高速飞机的发展。而“麦克罗伯逊”(MacRobertson) 英-澳飞行比赛(1934年)确认了现代单翼机的优越性。经过修改的军用机和运输机被多次用于远程飞行，这也是两次大战期间航空发展的一个特征。其间最重要的飞行有：首次直接穿越北大西洋的飞行［1919年阿尔科克(J. Alcock)和布朗(A. Whitten Brown)］；首次从英国到澳大利亚的飞行［1919年R·史密斯(R. Smith)和K·史密斯(K. Smith)］；首次环球飞行(1924年美国航空队)；首次到达南北极上空的飞行［1926年伯德(R. E. Byrd)和贝内特(F. Bennett)；1929年伯德和巴尔肯(B. Balchen)］；首次单独飞行穿越北大西洋［1927年林白(C. A. Lindbergh)］；首次穿越太平洋的飞行［1928年金斯福德-史密斯(C. Kingsford-Smith)和乌尔姆(C. T. P. Ulm)］。还有其他很多次飞行。后来，人们使用轻型飞机进行了许多次远程环球“创纪录飞行”。许多飞行员名利双收(其收入来源于奖金、赞助费和广告报酬)，他们的名字以大标题刊登在各国的报纸上[1]。

第二次世界大战之后，轻型飞机的研制又获得新的动力，特别是在美国。战后30年间，美国的通用航空事业迅速扩展起来。以下事实可以说明其发展的规模：至20世纪60年代中期，美国通用航空飞行时数超过了各航空公司和军用飞行时数的总和；而美国各航空公司

1 科巴姆(Alan Cobham)，约翰逊(Amy Johnson)，波斯特(Wiley Post)，金斯福德-史密斯，莫利森(Jim Mollison)，斯科特(Charles Scott)，巴顿(Jean Batten)，埃尔哈特(Amelia Earhart)，默莫兹(Jean Mermoz)，欣克莱(Bert Hinkler)，梅罗斯(James Melrose)，科多斯(Paul Codos)，科斯茨(Dieudonné Costes)，奇切斯特(Francis Chichester)，等等。

本身的飞行时数超过了所有其他西方国家飞行时数的总和。到 20 世纪 60 年代，美国大批生产种类繁多的单发动机和多发动机轻型飞机，特别是派珀（Piper）、塞斯纳（Cessna）和比奇（Beech）等飞机制造公司。这些飞机几乎都是全金属结构，绝大部分装有活塞式发动机。然而少量但日益增加的涡轮螺旋桨式飞机和纯喷气式飞机也在投入运营。轻型飞机和少量更大型飞机正广泛用于各种工业、商业、行政和娱乐目的及飞行训练。

滑翔飞行和高空飞行是 20 世纪 20 年代初始于德国的一种私人飞行活动。最初多半是在《飞行运动》(*Flugsport*) 杂志的编辑乌尔西努斯（Oskar Ursinus）博士的鼓动下开始的。由于第一次世界大战后《凡尔赛条约》限制德国进行动力飞行，德国人就采用滑翔飞行作为一种省钱的促进飞行的方法。

最初，这种滑翔运动仅限于沿山坡下滑作起飞滑翔，后来由于发展了上升热气流翱翔、雷暴翱翔、波状翱翔等技术，这才使这种滑翔有可能取得惊人的成效。到 20 世纪 60 年代，世界滑翔飞行纪录高度为 4.6 万英尺（1.4 万米），约 650 英里（1000 千米）直线距离，平均时速为 80 英里（130 千米），沿 62.5 英里（100 千米）三角航线飞行。滑翔机的技术发展与飞行技术的进步密切相关。开始时，重点在于在高空中低速滑行；早期的木质滑翔机在低速时会缓慢下降，可如果不迅速降低高度，就飞不快。20 世纪 20 年代滑翔机的发展对减少使用飞机牵引和改进薄壳木质结构做出了重要贡献。

第二次世界大战后，滑翔机尽管在下降的最小速度方面增加不多，但还是获得了更高速度。因此滑翔机能在热升力的两区间更快地飞越过去，并能迅速通过下降区。有些滑翔机有蒙布覆盖的钢筒机身；少数滑翔机有铆接的薄壳轻合金板结构，与当代的飞机类似（第 33.6 节）。使用玻璃纤维制成的滑翔机（主要是德国制造）成为 20 世纪 60 年代最为流行的一种。主要用于训练的另一种滑翔机是装有发动机的，

这种辅助发动机用于起飞和爬高，在滑翔飞行时可以关掉。

33.6 金属单翼机的研制

具有良好的空气动力学外形的全金属单翼机（主要用铝合金蒙皮铆接而成）于20世纪30年代初成批出现，当时既用于军事目的，也用于民用目的。这类飞机在20世纪50年代后就成为人们都很熟悉的最重要的远程客机了。

人们很早就想用金属建造飞机。第一次世界大战期间，法德两国已有很多飞机使用布质蒙皮金属框架结构。战后，这种结构形式已成为普遍趋势，这主要是因为担心若再次发生战争能否得到合适的木材。然而，金属则可以更有效地用于硬壳或蒙皮受力式结构。在这种结构中，外壳是承载结构的一部分。

808

早在1876年，法国人佩诺（A. Penaud）和戈谢（P. Gauchet）首先提出应力蒙皮木质机翼的建议。第一个在飞机上进行尝试的是法国人勃朗（M. Blanc）(1912年）。1916年，两名德国人赫格特（F. D. Hergt）和厄斯特伦（Oesterlen）也按照勃朗的方法进行试验。但第一个大规模使用这种结构形式的是荷兰人福克（A. H. G. Fokker），他利用这种结构制造机翼，并和布质蒙皮焊管机身结合起来，在第一次世界大战期间为德国制造出十分成功的军用飞机（图33.9）。直至在20世纪30年代，许多军用飞机和民用飞机都使用这种结构形式。在20世纪20年代，德国人采用应力蒙皮木质机翼来制造水上飞机和轻型飞机，这种方法当时很快便被各国广泛仿效。

1911年，英国人汉德利·佩奇（F. Handley Page）同法国人吕雄内（E. Ruchonnet）、贝舍罗（L. Béchereau）曾首次制造了木质硬壳机身。第一次世界大战及后来德国人大量使用这种木质硬壳机身，用于制造水上飞机和轻型飞机。

1907年，布莱里奥首次在两架单翼机的设计中使用悬臂翼（无外



图 33.9 德国取得巨大成功的战斗机福克 D. Ⅷ，由木质悬臂机翼和钢焊管机身构成。1918 年。

部支撑），获得部分成功。英国的魏斯（José Weiss）在 1905 年就以滑翔机模型表明厚的机翼具有较好的空气动力效果。因而他指出将来的做法是采用轻型悬臂结构，尽管他自己在 1907 年设计的全尺寸滑翔机和从 1909 年起设计的飞机仍在继续使用支柱支撑。德国的容克（Hugo Junkers）在 1910 年曾提出一种使用厚翼的全翼机，但首架用厚翼制成的悬臂单翼机是一架完全按常规设计的下单翼飞机。1911 年出现的安托瓦尼特整体机（Antoinette Monobloc）是由法国人勒瓦瓦瑟尔（Leon Levavasseur）设计的，他还曾负责设计著名的由钢索牵拉的安托瓦尼特单翼机。但整体机失败了，因为机翼缺乏刚度。

法国莫兰 - 索尔尼尔（Morane-Saulnier）公司在第一次世界大战前曾制造过一架钢壳机身的飞机。德国的胡特（F. Huth）曾用铝壳机身制造过一架飞机。但造出第一架实用的全金属飞机的是容克（图 33.10）。名为“铁皮驴”（Tin Donkey）的悬臂单翼机（使用白铁皮焊接的应力蒙皮结构）于 1915 年飞行成功。但同 1916 年制造的同样结构的下单翼战斗机一样，事实证明它太重了。1917 年，容克改用轻得多的铝合金——压制成波纹薄板的硬铝，覆盖在用同样材料制成的筒



图 33.10　首架民用全金属飞机容克 F13。F13 和许多改进型飞机是两次大战期间被广为使用的机种。1919 年。

状承重结构上。这样做，蒙皮不再承受全部应力，只对结构强度起有限的作用。容克用此法建造的飞机在以后的 25—30 年间一直被大量使用。在英国，硬铝在 1911 年最先用于维克斯（Vickers）的“飞蝼蛄”（Mayfly）硬式飞艇，以后则用于齐伯林飞艇。只要加以改进，硬铝会成为制造飞机的最重要材料（边码 439）。

810

下一步更为重要，即要使轻金属的应力蒙皮结构有一个光滑的表面。德国设计人员在第一次世界大战期间首先对此进行尝试，但直至 20 世纪 20 年代，他们才把这种技术应用于飞机生产，即使在那时，生产规模也很有限。道尼尔（C. Dornier）和罗尔巴赫（A. Rohrbach）率先使用金属的应力蒙皮机翼。巴茨（G. Baatz）负责研制第一架用硬铝制造的机身。英国的肖特兄弟（Short brothers）和法国的维博尔（M. Wibault）也是战后从事这一领域的研究先行者。罗尔巴赫负责制造齐伯林 - 斯塔肯（Zeppelin-Staaken）E.4/20，这是一种四发动机全金属上单翼（high-wing）运输机原型，1920 年在德国进行了试飞。这种极先进的设计是基于构想中的重轰炸机而作出的，它指明了用硬铝制造大

型飞机的途径。

另一德国人梅塞施米特(W. Messerschmitt)对金属机翼的设计做出了重要贡献。瓦格纳(H. A. Wagner)是全面发展应力蒙皮结构理论的另一个德国人。由于采用了阿尔克拉特(Alclad)的办法，早期的硬铝腐蚀问题减少了。其办法是辗压上纯铝覆盖层(边码441)。这种防腐法于1929年首先用于美国的ZMC-2飞艇。

是美国人首先把这些先进技术全面用于飞机的生产的。20世纪20年代后期，若干美国设计人员，特别是洛克希德(Lockheed)公司的诺思罗普(J. K. Northrop)发展了纯粹的悬臂单翼机(最初使用木质材料)，其机翼荷载比以前尝试过的更大。这些要归功于使用新型的、大功率的、重量轻的星形气冷发动机[如赖特·沃尔温德(Wright Whirlwind)、普拉特和惠特尼·沃斯普(Pratt and Whitney Wasp)等发动机]，以及承受已增加的失速速度和起落距离。1927年洛克希德的维加(Vega)是这种设计的佼佼者。高荷载机翼减小了整机的体积，减轻了重量，改进了性能。因此，形成了彼此依存的各种技术互相促进的螺旋式提高，它使飞机得以改进，极大地增加了飞机的能力，提高了效益。

到20世纪30年代中期，若干美国厂家已生产出全金属的单翼机，它们采用新的技术思想并使用铆接硬铝薄板和冲压技术。马丁B-10轰炸机、波音247及道格拉斯DC-2和DC-3运输机等，就是结合各种技术精制而成的。这些技术包括：伸缩自如的起落架，改进了的翼剖面、襟翼，装在机翼上的全罩星形发动机，各种螺距的螺旋桨等。大约与此同时，仪器、设备和操纵技术也同步发展起来(第34章)。飞机运行的面貌焕然一新，飞机在恶劣天气下的飞行有明显的进步，飞机的可靠性和安全性也大大增加了。

33.7 空军成为支配力量

第一次世界大战的原始飞机只是陆海军的辅助力量，然而它们已显示出远大的前程。第二次世界大战期间制造的飞机数量为上次大战的3倍。它们的能力大大增长，几乎可以在一切能够想象得到的地方发挥作用。

在两次大战之间，人们广泛持有这样的观点，即轰炸可以毁灭城市，并可瓦解该地区居民抵抗的意志。在日本侵华战争（1931—1945年）和西班牙内战（1936—1939年）中，对轰炸的结果所作的夸张报告似乎强化了这一观点。意大利人杜黑（Giulio Douhet）在广为宣传的《制空权》（*Command of the air*）（1921年）一书中首次宣称战略轰炸的决定性作用。由特伦查德爵士（Sir Hugh Trenchard，后为勋爵）提出的“英国空军信条”也同意这种观点。结果，英国皇家空军将重点放在重型轰炸机上；当战争又一次迫近时，又重点筹划如何防御轰炸机的策略。美国的米切尔（William Mitchell）及其支持者也在大肆宣传的“炸弹对付战舰”的辩论中鼓吹陆基轰炸机理论。但美国却采取了舰载空中力量，辅以远程的海岸基地飞机支援力量作为战略基础；日本也采用这样的战略。德国人（苏联人和英法两国的若干军事思想家并不那么果断）高度评价飞机对直接支援地面力量的作用。这时，装甲战车和汽车运输已使地面力量本身具有高度的机动性。

自第二次世界大战于1939年9月爆发后，上述观点影响着战争的方式。德国的“闪电战”就是依靠地面的机械化装甲部队，用战术空军力量紧密支援，1939—1940年在波兰、挪威和西线取得了迅速而决定性的胜利。德国的空军力量主要使用容克Ju 87单发动机俯冲轰炸机和双发动机多尔尼耶Do 17、海因克尔（Heinkel）He Ⅲ，以及容克Ju 88轰炸机，以梅塞施米特Me 109战斗机作为支援力量——所有全金属应力蒙皮结构的现代单翼机，都使用倒V型液冷活塞式发动机作为动力。在整个第二次世界大战期间，制造了大量

的 Me 109 战斗机（3.3 万架），并不断地加以改进，以后还辅以汤克（Kurt Tank）的福克 - 伍尔夫 Fw 190 机（共建造了 2.5 万架）。其中有些飞机和飞行技术在西班牙内战期间通过德国的“秃鹰部队”（Condor Legion）已被验证。

812

弱小的波兰空军在几天之内便寡不敌众。在挪威，英国使用舰载飞机和从遥远的北方由陆上起飞的战斗机进行对抗，都未奏效。当德国人挥师转向西线时，此种情景又重演了：法国的空军很弱，部分原因是飞机工业在国有化后被搞乱了，它的战斗机［莫拉纳（Morane）406、德沃伊廷（Dewoitine）520 和从美国进口的柯蒂斯·霍克斯（Curtiss Hawks）］和轰炸机［利奥（LeO）45 和波特兹（Potez）63］同德国的装备相比，无论在质量上还是数量上都处于劣势。英国皇家空军的援助在规模和质量方面也是很不够的，因而法国在 1940 年 6 月就崩溃了。

“不列颠之战”是那年夏天在英国皇家空军和纳粹德国空军之间进行的。这是完全发生在空军之间的第一次主要战役。德国人如果要入侵英国，通往英伦三岛或英国南部的制空权势在必争。但在轰炸机和战斗机的长时间袭击之后，德国人并没有达到目的。他们被数量上处于劣势的英国皇家空军战斗机群击退了，英国空军在本土上空使德国空军蒙受了重大损失。英国的防空力量是卡姆（Sidney Camm）的霍克飓风式歼击机（Hawker Hurricane）和米切尔（R. J. Mitchell）的超级海上喷火式战斗机（Supermarine Spitfire）（图 33.11）。机上装有 8 挺机枪、反射瞄准器，以及使飞机同高效的指挥系统保持联系的高频或甚高频无线电话。该指挥系统配备有最早的预警雷达网和复杂的地面观察机构。那时战斗机的最大时速为 300—350 英里（480—560 千米），有效高度为 3 万英尺（9100 米）。

在“不列颠之战”的白天战斗失败后，纳粹德国空军改为夜间袭击。对伦敦和英国其他城市的袭击一直持续到 1941 年 5 月。但由于德国轰炸机对这种夜间袭击不适应，收效甚微。此外，英国

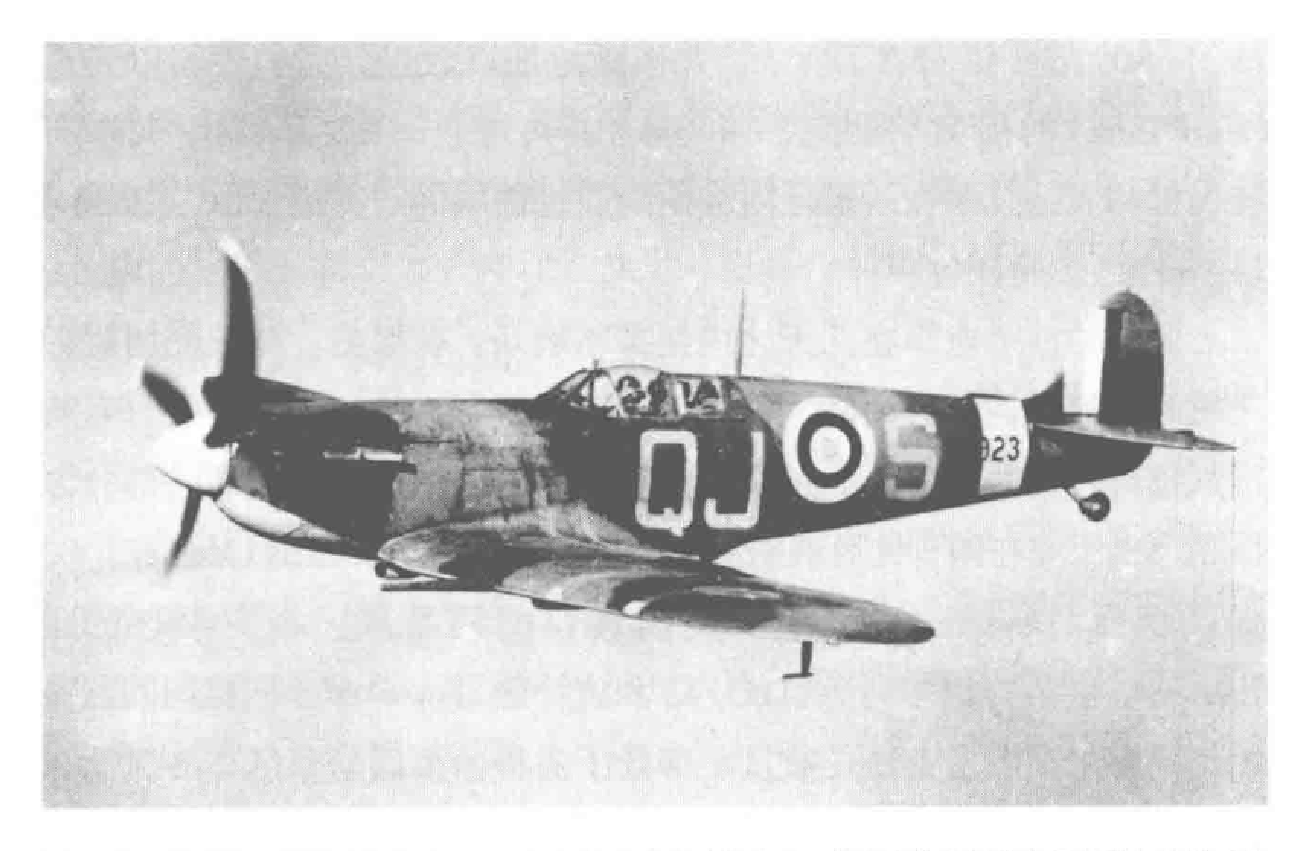


图 33.11　空战史上最著名的战斗机——超级海上喷火式战斗机，是应力蒙皮结构金属单翼机的优秀范例，装有液冷活塞发动机。1938 年。

由雷达导航的夜间战斗机［以布里斯托尔的“英俊战士”战斗机(Beaufighter)最为著名］使前来袭击的德机损失数量迅速增加。

1941年6月，德军及其仆从国军队转而进攻苏联，发动了一次强大的闪击战，又一次取得了惊人的成功。入侵者直抵莫斯科附近，甚至远至高加索时才慢下来，最后于1943年初在斯大林格勒（现称伏尔加格勒）附近被阻。在这场艰苦和漫长的战役中，苏联的重要飞机是单发动机的伊柳辛（Ilyushin）Il-2斯图莫维克（Sturmovik）地面攻击机和雅科夫列夫（Yakovlav）系列战斗机。东线的空战为杰出的战斗机飞行员的成长提供了天地。如同第一次世界大战中一样，成功是以击落敌机的数量来衡量的。其中名列前茅的飞行员有：德国的哈特曼（Erich Hartmann）（352架），奥地利的诺沃特尼（Walter Nowotry）（258架）和苏联的科热杜布（Ivan Kozhedub）（62架）。在西欧和北非战场上，成功的飞行员有：德

国的马赛（Hans-Joachim Marseille）（158架），南非的帕特利（St John Pattle）（41架），英国的约翰逊（James Johnson）（38架）。太平洋战场上是美国的邦格（Richard Bong）（40架）和日本的西泽（Heroyoshi Nishizawa）（103架）。

日本是在1941年12月参加战争的。从日本航空母舰起飞的飞机突然袭击了美国在夏威夷群岛的珍珠港海军基地，使这个美国太平洋舰队的核心毫无反击之力。其后，美日海军间的海空战扩展至太平洋，双方多半使用各自研制的特制海军飞机。其中在美国方面杰出的飞机有格鲁曼（Grumman）F4F、F6F和沃特（Vought）F4U歼击机，道格拉斯的SBD和格鲁曼的TBM轰炸机。日本方面主要依赖三菱（Mitsubishi）的A6M（零式）战斗机，爱知（Aichi）D3A（互尔）和中岛（Nakajima）B5N（凯特）轰炸机。

美军的空军首次在欧洲进行军事部署。共有四发动机的波音B-17和统一B-24轰炸机，以后由战斗机护航——希巴德（H. L. Hibbard）的洛克希德P-38，卡特维利（A. Kartveli）的共和P-47，赖斯（R. Rice）和施穆德（E. Schmued）的北美P-51战斗机——它们从事白天的轰炸，作为英国皇家空军轰炸机群晚间袭击的补充。英国空军也在使用大型的四发动机轰炸机：肖特的斯特林（Stirling），汉德利·佩奇的哈利法克斯（Halifax），尤其是查德威克（Roy Chadwick）的兰开斯特飞机，以及高速双发动机的木质德·哈维兰蚊式轰炸机。

814

美国在太平洋的陆基空军力量是逐步建立起来的。以岛屿为基地的美国空军逐步向日本靠近，最后进入马利亚纳群岛、琉磺岛和冲绳岛。美国新型四发动机远程轰炸机波音B-29（图33.12）从这些基地起飞，发动对日本列岛的战略进攻。

与此同时，德国的潜艇和少量水面舰只一直在封锁英国，从1941年初开始，同盟国船只蒙受了重大损失。与太平洋美军所做的

一样，飞机在对付德国潜艇的战斗中发挥了很大作用。当时德国的封锁还辅之以海岸为基地的福克-伍尔夫FW200巡逻机，这种飞机是由战前民用运输机发展而来的。同盟国对付德国封锁的办法是重新采取护航（在1914—1918年已使用过），进行大规模的海面护航和飞机

815

护航。事实证明，飞机是对付德国潜艇最有效的手段。飞机从被征军用的商船（或弹射出去，或从船上的临时飞行甲板起飞），或从小型护航航空母舰起飞，最主要的是从海岸基地起飞执行任务。英、美、日三国在两次大战之间经常使用大舰队，这时大舰队中的航空母舰也参与反潜战，但这种舰队主要是用来攻击敌方的海面舰只和海岸基地。其中著名的战役是1941年11月英国在塔兰托攻击意大利舰队的战役。美国自中途岛战役起在太平洋上进行的一系列重要海空战役中，起主要作用的是由航空母舰起飞的飞机。

空中力量在每次战争的舞台上均扮演着重要的角色，显示出对未来具有非凡作用的是：1941年德国入侵克里特岛时使用的运输机（容克Ju 52/3m），同盟国向非洲、缅甸和中国运送供应物资使用的运输机（道格拉斯C-47、C-54和柯蒂斯C-46）。连接中国和西方的唯一陆上通道滇缅路被日本切断以后，盟国飞机进行了穿越喜马拉雅山的“驼峰”飞行。在以上或其他场合使用的飞机几乎全是全金属的应力蒙皮单翼机，装有大约2000马力的星形气冷发动机或V型液冷活塞发动机。这类飞机由美、英、德、意、日设计，在战前有的已研制成功，有的则正在研制中。

816

1944年，德国占领下的欧洲被袭击，由于连遭英美军的轰炸进攻，德国势衰力竭，一片混乱，特别是由于轰炸造成德国石油短缺，最后导致德军败北和德国经济崩溃。1945年5月，第二次世界大战在欧洲结束，然而大战结束前德国从1944年9月开始发射了大约4300枚V-2弹道导弹，其中近一半是用来袭击英国的。这种武器是由冯·布劳恩（W. von Braun）领导的研制小组设计的（第35章）。它

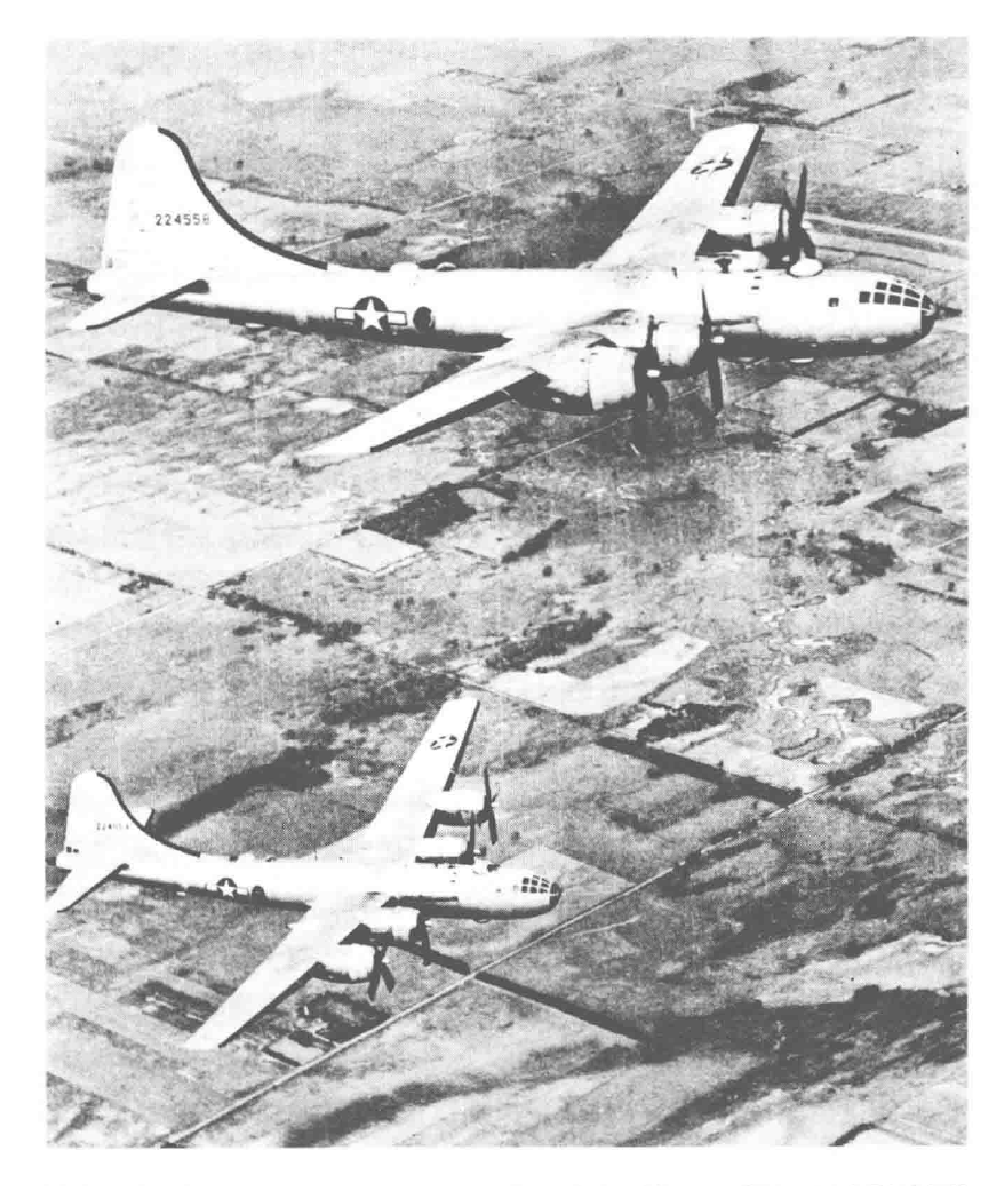


图 33.12　第二次世界大战在太平洋使用的起决定性作用的轰炸机波音 B-29，曾用于对日本进行大规模的轰炸，投下两颗原子弹。1943 年。

提前拥有了其将在 20 世纪后半叶获得的重要战略地位，而弹道导弹注定会成为轰炸机的辅助力量。对于全面战争（或以此相威胁），它还会取代轰炸机成为决定性的战略武器。

第二次世界大战结束前，轰炸机由于使用烈性炸药和燃烧弹，强化了人们战前对轰炸机会毁灭城市的恐惧心理。1943 年 7—8 月对汉堡的大轰炸死了近 4.2 万人，1945 年 3 月对东京的燃烧性轰炸造成了约 8.4 万人死亡，这个数字比 1945 年 8 月 6 日和 9 日将原子弹投在广岛（死 8 万人）和长崎（死约 4 万人）任何一次死的人都多。两颗原子弹迫使日本立即投降，从而使战争突然结束，空中力量的绝对支配力量得到了最终的确认。核武器加上空间运载系统（飞机和导弹）对防止以后全面战争的爆发具有有效的威慑力。

33.8 地面设施和导航设备

莱特的“飞行者号”飞机需要一个起飞导轨，通常还需要弹射器的帮助才能起飞。它用滑橇着陆。此后除了水上飞机和极少数用滑橇着陆的飞机之外，几乎所有的飞机都有了轮式起落架。法国人法布雷（Henri Fabre）在 1910 年 3 月 28 日首次驾驶一架水上飞机飞行。从此以后，浮在水上或作为“飞行的船”的水上飞机被广泛使用。水上飞机能够在没有什么地面设施的地方起落，它主要在这些地方发挥作用，即使它造价更高，性能更低，使用起来也不便利，可用起来也是合算的。

至 20 世纪 30 年代初，陆上飞机可从任何比较光滑、坚实与平坦的机场跑道上迎风滑跑约 1500 英尺（450 米）后起飞。在双翼机时代，机翼的荷载很低，而且这种荷载增加得很慢（约从 4 磅 / 平方英尺增至 12 磅 / 平方英尺左右）。当新型全金属单翼机出现后，翼载荷才开始迅速提高。采用襟翼、高升力装置和改进了的机翼剖面使给定面积的机翼能提供更大的升力，但增加的升力不足以缩减起飞和着陆的滑跑距离。20 世纪 30 年代后期，较大的机场跑道长度已达 4000—5000 英尺（1200—1500 米），至第二次世界大战末，已增至 6000—7000 英尺（1800—2100 米）。大约与此同时，重型飞机需要有表面坚

817

硬的跑道。接着出现了前轮起落架，它有利于起飞，减少侧风的限制，并使飞机着陆后有可能大力刹车——不久就使用可逆桨，后又用反向推力喷气协助着陆刹车。

高性能的大型军用机和民用机所需的跑道不断加长、加固。至20世纪50年代，跑道长达7000—8000英尺（2100—2400米）。20世纪60年代，由于喷气推力式飞机的普遍使用，要求跑道长达1万英尺（3000米），甚至更长，而翼载荷也已达到100磅/平方英尺，甚至更大。

1909—1910年，在实用飞机出现后不久，夜间飞行便初露端倪。第一次世界大战期间，夜间飞行进行空袭和防卫已相当多。但除了有月光的夜晚外，这仍然是有点冒险的事。直至20世纪30年代初采用陀螺仪，单凭仪器操纵飞行后，这种状况才有所改变。第一台陀螺仪是德国的人工地平仪（从1916年起用于德国的“巨人”轰炸机）和1917年由美国的斯佩里（Lawrence Sperry）提供的一台转弯指示器，但几乎没有飞行员懂得如何在云层和黑夜中使用这样的仪器以保证飞行安全。在两次大战之间，某些早期的引人瞩目的飞行记录提供了最初有关利用仪器进行长时间飞行的实例（第33.5节）。

首次完全靠仪器的飞行（包括使用仪表进场着陆）是1929年9月24日由美国的杜利特尔（J. H. Doolittle）实现的。他使用了无线电和人工地平仪，还有一个航向陀螺仪。首次依靠仪器着陆的是博格斯（M. S. Boggs）在1931年9月5日实现的。从20世纪30年代初开始，靠仪器飞行逐渐普遍起来，特别是同时使用防冰设备和对飞行员进行适当的训练，这些都大大增加了飞机在恶劣天气中飞行的能力。飞行员的训练由于有地面模拟器而大受裨益，这种训练是由林克（Link）教练机实现的。

在飞机进入实用后不久，就尝试用无线电通信。第一次世界大战时，无线电曾用于空中与地面的通信和导航（主要用于飞艇）。20世

纪20年代初，美国人在政府经营的航空邮路线上，首先将无线电广泛用于陆空双向通信和导航，并从1927年开始推广到迅速扩张的国内航线网上。美国人爱用无线电话(用口语)；而在欧洲，无线电报(用莫尔斯电码)则更受欢迎。美国从1927年起采用中频(MF)四航向无线电信标，它能沿规定的航线从一信标至另一信标提供导航。至1939年，这种方法已广泛传至世界各地。第二次世界大战后，它成为世界性空中航线系统的导航基础。欧洲人以前已利用无线电使飞机返航(QTE系统和QDM系统)。另一种美国的导航设备是各地面站都使用的无线电罗盘(以后发展为自动测向仪ADF)或全向中频信标(NDB)。

20世纪30年代出现的良好照明系统和第一套进场灯光系统，替换了早期原始的“跑道照明线”。这些照明系统、仪器设备、无线电通信和改进后的飞机标志等设施，逐渐使夜间飞行和恶劣气候下的飞行成为常例，到最后飞行只受制于起飞和着陆需要充分能见度这一问题。接着解决的是以下两个主要问题：一是进场和着陆[1]；二是途中导航[2]。在巡航飞行中使用自动驾驶仪控制特大型飞机始于20世纪30年代后期。经过美国1936—1938年实验后，自动驾驶仪于20世纪50年代开始与导航、进场和着陆的设备同时被使用。这就使大部分自动

1　30年代初，德国的洛伦茨（Lorenz）进场导航设备（后来是标准波束引导进场设备，SBA）是由无线电导航发展而来的，利用了等信号无线电导航信标原理。谢勒（Scheller）在第一次世界大战前首先提出这一原理。第二次世界大战时，引导进场任务由雷达承担（雷达最初用作飞机和船只的探测和定位），以后发展成“接地面口令进场”的地面控制进场着陆系统（GCA）。无线电通信由以前使用的中频无线电话发展至高频（VHF），则得力于不列颠引线开关的改进。战后，进场着陆系统已大多被仪表着陆系统（ILS）所代替，此系统是由印第安纳波利斯的美国民用航空局研制的。1928—1930年间，该局根据等信号无线电导航信标和邓莫尔（F. W. Dunmore）的短波着陆射束原理着手进行研制。仪表着陆系统现在继续在普遍使用，其形式也在不断改进。

2　“桑尼”（Sonne，相位控制的无线电信标）是一种远程导航系统，是第二次世界大战期间德国人研制的，后来英国人（作为“领事”）加以改进，现在仍在使用。英国人还在被称为“尤里卡”（Eureka）的地面应答信标的基础上研制了导航用的第二种雷达系统。英国皇家空军在战时为轰炸机导航使用一种双曲线脉冲系统（Gee，即G导航系统），以后发展成“劳兰”系统（Loran，即双曲线远程导航系统），这种较新的系统现在仍在继续使用。“台卡导制”（Decca）是与“无线电指向标”系统不同的另一种广泛使用的“近程导航”系统。50年代后期，美国人引进甚高频全向信标（VOR），从此它被世界大多数地方用作航线导航系统的基础；装上测距装置（DME）后，它还可以成为近程导航系统（Vortac）。60年代采用的导航设备，如多普勒（Doppler）雷达和惯性导航系统（INS）也都是“区域”导航设备，它们自身设备齐全，独立于地面设施。

化飞行成为可能，包括能见度极低的着陆。自动化仪器设备必须是"无故障的"、高度可靠的。在某些系统中，飞行员可以进行干预操纵；而在另一些系统中，则无须干预。

两次大战之间，开始由地面控制空中交通，最初是使用可见信号。20 世纪 30 年代中期，美国 4 个国内航空公司最先开始使用无线电，之后又用雷达和计算机来控制空中交通。此后，这种空中交通指挥站（ATC）不断发展。欧洲也有类似的早期发展。至 20 世纪 50 年代，几乎所有航空公司的运输以及其他大量的民用、军用飞行都被置于可控的领空。所有航道、高度、飞机间距等都受到地面控制站不间断的监控。像所有繁忙的机场一样，由控制塔管理空中交通的主机场通常成为控制中心（CTR），四周是较大型的着陆区（TMA）。在空中交通指挥中心的控制下，各着陆区是由航空路信标连接的，它的宽度和高度是根据信标和方位点界定的。飞机的活动通常事先作好计划，并按规定计划飞行。人们通过监视雷达可以观察飞行活动，并用能回答雷达询问的发射机应答器（IFF）进行鉴别。

819

除了机场和途中这些精致完善的设施外，还有宽敞的营业大楼、地面运输系统，以及其他为旅客和货物所做的安排，这些都已在全世界发展起来；而军用和民用飞机紧张的飞行还要求广泛而精心的维修服务，因而也要求装备有发动机试验室、电子车间和设备维修车间的检修基地，以及其他的专门设施等。

33.9 喷气推进器

20 世纪 30 年代后期，少数有远见的人预见到活塞发动机对高速飞机推力的局限性，因而他们对利用燃气涡轮（第 40 章）和火箭（第 35 章）的可能性产生了兴趣。

英国的格里菲思（A. A. Griffith）和惠特尔（F. Whittle）在 20 世纪 20 年代后期都分别率先提出了在飞机上使用燃气涡轮的实用性建议。

1926年，格里菲思发展了一项有关涡轮叶片设计的空气动力学新理论。1929年，他提出一种驱动螺旋桨的燃气涡轮轴流式压缩机，即所谓涡轮螺旋桨发动机。一台轴流式压缩机于1936年制成，从而使一台轴流式的梅特罗维克（Metrovic）纯喷气发动机得以在1940年制造成功，并于1943年装上飞机进行飞行。1928年，惠特尔建议使用带有离心式压气机的燃气涡轮以提供喷气推动，他于1930年获得专利，并在1932年公开发表了此项技术。也许德国的冯·奥海恩（H. von Ohain）和米勒（M. Mueller）由此得到启发，他们从1936年起进行了类似的研制。

奥海恩研制出一种像惠特尔发动机一样的离心式喷气发动机；米勒起初也提出一种涡轮螺旋桨发动机，至1938年，它已发展成轴流式纯喷气发动机。奥海恩的第一台喷气发动机在1937年运转，是与惠特尔的第一台喷气发动机同时出现的。首架喷气飞机是德国的海因克尔He 178，它装有改进了的奥海恩发动机，此架飞机于1939年8月27日进行飞行。接着英国设计的装有惠特尔发动机的首架格洛斯

820



图33.13 梅塞施米特Me 262是首架用于军事目的的喷气战斗机，1944年。英国的格洛斯特·米特奥尔喷气战斗机也于战时投入使用。

特（Gloster）E.28/39 喷气机于 1941 年 5 月 15 日也飞行成功。首先使用的喷气发动机飞机是战斗机。德国梅塞施米特的 Me 262 喷气战斗机（图 33.13）和英国的格洛斯特 · 米特奥尔（Gloster Meteor）喷气战斗机于 1944 年投入使用；直到第二次世界大战结束，它们的使用规模都不大。美国和苏联的喷气机研制也始于此时，主要是在早期英、德的工作基础上着手进行的。

除最小型飞机外，喷气飞机在军用和民用方面逐渐替代了活塞发动机飞机。首架轻型喷气轰炸机、侦察机和全天候战斗机在战争结束时投入现役。接着出现的是中型喷气轰炸机（1951 年）、喷气运输机（1952 年）、重型喷气轰炸机（1955 年）、军用全过程教练机（1955 年）、行政勤务飞机（1961 年），最后是喷气海上巡逻机（1969 年）。

涡轮螺旋桨发动机尽管有其局限性，但自 20 世纪 50 年代初在若干种飞机上使用以来，它和纯喷气发动机一起作为飞机的动力装置曾有过一段辉煌的历史。20 世纪 50 年代、60 年代和 70 年代，这种发动机（400—约 1.5 万马力）仍在广泛使用。但有迹象表明，它们或许无法同喷气发动机进行竞争，至少在大型机方面是如此。到此时为止，涡轮螺旋桨发动机甚至未能取代当时在轻型飞机中几乎仍在普遍使用的活塞发动机，尽管到了 20 世纪 60 年代，在涡轮轴的造型方面，它们已成为直升机的主要动力设备。

第二次世界大战后，喷气发动机最重要的发展方向是推力更大、燃料消耗更低、推力重量比更高。在为减少大气污染（排出烟雾）和噪声方面也作了特别的努力——或者至少要把伴随着以后出现的更大功率发动机增加的污染和噪声减至最低限度。改进中的主要贡献是用了二元流原理。按照这一原理，只有经由发动机压缩机的那部分气体才通过燃料燃烧，并驱动动力涡轮。这种改进是因采用伴有一对或 3 个转子的配置，而使压缩机（和推进风扇）的各个部分都能被各自的动力涡轮驱动，从而以各种速度更有效地运转。

第二次世界大战后的火箭发动机对推进导弹和发射太空飞行器具有头等重要性（第35章），但必须为火箭发动机提供氧气和液态或固态燃料。可是这种动力装置现在几乎已不用于飞机了。首架试验性的火箭推进飞机是德国的RRG恩蒂（Ente）滑翔机，它于1928年6月11日用两节桑德（Sander）固体燃料火箭为动力进行了短距离飞行。1929年9月30日，冯·奥佩尔（F.von Opel）用另一架由火箭推动的滑翔机进行了较长距离的飞行。首架以液体燃料为动力的火箭飞机是海因克尔He 176，它于1939年6月30日进行了首次飞行。接着，德国人在第二次世界大战中小规模地使用过以火箭为动力的截击机梅塞施米特Me 163（1941年4月首飞）。战后，使用火箭推动的飞机几乎仅用于试验——主要作为高速飞行研究之用。目前，尚无迹象表明，在可预见的将来，以火箭为动力的飞机将会替代喷气发动机飞机。

33.10 直升机

直升机是20世纪的一项发明。前两个世纪，几位先驱者曾考虑使用旋翼并驾驶过原始的模型机，但直至1907年，载人的直升机才飞离地面。首架直升机——实际上是一种系留试验装置——是布雷盖兄弟（Breguet brothers）和里歇（C. Richet）在法国制造的。这架直升机有4片双平面水平旋翼，由45马力的安托瓦妮特（Antoinette）汽油发动机驱动，于1907年9月29日首次载着飞行员升空。6周后，即11月13日，科尔尼（Paul Cornu）用两片串置的能相对旋转的双叶旋翼使一架直升机飞了起来，动力装置是24马力的安托瓦妮特发动机。当时这种飞机既不是真正可操纵的，也不具备很好的稳定性。但据称，第二架直升机离地飞行了约20秒钟。20世纪20年代，稳定性和可操纵性获得进展。美国的德博特扎（G. de Bothezat）研制了一架有4片水平旋翼的直升机，使用220马力的格诺姆-朗恩（Gnome-Rhone）发动机，在1922年12月18日飞行了1分42秒。英国皇家

航空科学研究所的布伦南（L. Brennan）在1925年夏天取得了同样的成果。他采用单旋翼设计，把4片桨叶中的两片装在由轴驱动的螺旋桨上作为动力。英、美两国这两种机型在某种程度上是可控的，在悬停时能勉强保持稳定，但在水平飞行中仍不稳定。

德博特扎是由美军资助的，布伦南则由英国航空部资助。1920年，英国航空部为能成功起飞的直升机提供了5万英镑的奖金，但这笔奖金无人获得；而法国政府为能首次驾驶直升机环行1千米的飞行者提供了9万法郎的奖金，被厄米肯（E. Oemichen）获得，时间是1924年5月4日，他共飞行了14分钟。厄米肯还创造了官方首次承认的直升机飞行世界纪录。从1920年开始，他设计了一个类似德博特扎直升机的飞机，该机有4个主旋翼，还有至少8个辅助螺旋桨作为控制装置。阿根廷人佩斯卡拉侯爵（Marquis R. de Pateras Pescara）大约同时也在法国进行实验。他保留了德博特扎用旋翼间距的变化进行控制的较实用的方法。在他的直升机上，两个共轴串置旋翼的螺距利用双平面叶片的扭曲可以变换，既可组合，又可轮转。周期变距操纵已于1906年由克罗克（G. A. Crocco）发明。佩斯卡拉的设计是不稳定的，但在1924年他的直升机也飞行了约12分钟之久。直升机的推力是通过使升力矢量倾斜而得到的，水平旋翼在发动机发生故障后还能空转，因而在自旋中能安全降落。

自旋即旋翼在气流中自转。旋翼机的发明者、西班牙人谢尔瓦（Juan de la Cierva）于1923年1月9日在马德里首次表演了这种自旋。这是一种中型的旋翼飞机，由一个正常的螺旋桨推进，在飞行中旋翼可空转。大约700架这种旋翼机在其后20年中在世界各地投入使用，这为直升机的研究提供了宝贵的实际经验。谢尔瓦还采用有铰接的旋翼叶片［由勒纳尔（C. Renard）于1904年首先提出，布雷盖于1908年试验过］。这种办法减轻了振动和叶片的应力，消除了讨厌的螺旋效应，克服了平飞时前进叶片和后退叶片的不平衡升力。首先在直升

机上使用有效铰接叶片的是意大利人达斯卡尼奥（C. d' Ascanio）的共轴设计，他在1930年使直升机飞行了约9分钟。

从1931年至1933年，位于莫斯科附近的苏联中央航空流体动力学院（TsAGI）生产了一系列有3个单旋翼的直升机，这些直升机装有铰接叶片及总距操纵和周期变距操纵，还有两个小型螺旋桨作为抵消主旋翼的扭距，据称曾飞行了10—15分钟。

首批实用的直升机于1935—1936年问世：共轴的布雷盖-多朗（Breguet-Dorand）314机于1935年6月26日在巴黎附近进行了圆满的自由飞行，以后又使飞行时长超过了1小时，时速约达65英里（105千米）。这种飞机直到1939年还在继续飞行。1936年6月6日，由福克（H. K. J. Focke）设计的Fw 61装有两个并列的水平旋翼，也进行了首次自由飞行，在一年内创造了数项世界纪录：续航时间1小时20分；闭路距离为50英里（80千米）；高度为8000英尺（2400米）；时速为76英里（122千米），从而确认了直升机的实用性。上述两种机型都装有铰接旋翼叶片与总距和周期变距操纵。布雷盖的直升机没有投产，但有较大创新的Fw 61在第二次世界大战时于德国被小批量投入使用。

在美国，成批生产和使用的首批直升机是由西科尔斯基（Igor I. Sikorsky）设计的。在1939年9月14日作首次飞行时，西科尔斯基的V.S.300直升机有一个长28英尺的单一主旋翼，动力是一台75马力的莱康明式汽油发动机，机上装有3个带铰接叶片的总距操纵和周期变距操纵，还有一个小型扭距补偿尾旋翼。最初的设计并不理想，经过修改，用两个附加辅助旋翼来代替周期变距操纵。这种回复到原来简单机型的V.S.300A定型机（图33.14）于1941年12月8日投入飞行，其后大约有400架按西科尔斯基设计的3种改进型直升机在大战结束前仍在服役。

战后，尽管直升机技术极其复杂，成本也高，但凭借其在悬停、



图 33.14　西科尔斯基的 V.S.300A 是首架成功的“前轮大、后轮小的旧式自行车”型直升机，装有单一的主旋翼和小型反扭距尾旋翼。1941 年。这种机型后来成为最普通的直升机型。

垂直起飞和着陆方面的诸多能力，直升机逐渐成为十分重要的飞行器，仅位居飞机之后。至20世纪60年代，成千上万架直升机在世界范围内投入军用和民用：在战场上紧密支援“战舰”和提供运输；反潜战；为农作物喷药；包租和定期的商业性旅客和货物运输；石油钻井维修；以及许多紧急救援工作。

从20世纪60年代初起，除最小型飞机外，所有飞机都开始采用燃气涡轮动力装置，这种装置有助于消除直升机的两大缺陷：可装卸负荷小、最大速度低。大多数直升机仍是小型的，虽然较大型的、多发动机的直升机正在增加，有的重量约达10万磅（4.5万千克）。最流行的直升机是像西科尔斯基所开创的那样，装有单一的主旋翼和一个小型扭距补偿尾旋翼。其他类型的直升机则装有两个主旋翼，或串联，

或并列，或互相啮合，或共轴，操纵和推进几乎都是靠总距操纵和周期变距操纵的变化。旋翼的桨叶通常都是铰接的，尽管使用刚性的互相连接的双桨叶“跷板式”旋翼［1942年为美国贝尔公司的扬（A. D. Young）首创］也很普遍。新的研制目标是刚性的或半刚性的旋翼，后者有扭杆桨叶的附属装置。

33.11 航空运输业的增长

20世纪30年代中期，经济实用的运输机已经出现。航空公司运输旅客的成本费，若考虑竞相承载的因素，首次低于票价收入，而低廉的票价又促使客运量剧增。众多技术上和操作上的改进有助于航空运输业的发展(第33.6节)，而美国的道格拉斯DC-3(图33.15)的贡献尤为突出。研制这种运输机约花费了250万美元(按70年代中期的价格约为1000万美元)。这一运输机是由雷蒙德(A. E.



图33.15 道格拉斯DC-3是世界航空发展史上最成功的运输机。它综合了现代金属单翼机的许多特征。

Raymond）和伯顿（E. F. Burton）领导的一个小组按照美国航空公司的订单而研制的。DC-3 是由早期的 DC-2 演进而来的（DC-2 是为环球航空公司建造的）。DC-3 的这一进展使美国航空公司走出了艰苦创业的时代。几年之内，美国的经营者已有盈余而不再依赖补贴了。这种新飞机及可能进一步改进的操作技术使美国的航空公司很快便雄踞世界各航空公司的前列。整个 20 世纪 30 年代，美国航空公司载运旅客的数量相当于其他国家航空公司载客数之和。美国四大航空公司（美国航空公司、环球航空公司、东方航空公司和联合航空公司）发展成兴旺的国内航线体系的核心，而“特选”的泛美航空公司则扩展了海外业务——最初至拉美，以后穿越太平洋和大西洋。

DC-3 机大量出口，并在全世界用作航空公司的新标准机型。后来，这种飞机有了许多军用变种，成千架地在运输军需品。战后，它又恢复了民用，重新振兴了各航空公司，此后很多年还为许多次要航线作了不少贡献。数百架 DC-3 运输机在它问世 40 年后仍在使用。

DC-3 运输机（运载 20—30 名旅客）又发展至更大型的 DC-4 四发动机远程运输机（运载 40—60 名旅客）。它最初是由美国四大航空公司赞助研制的。1942 年，它以 C-54 军用机型首次投入使用。DC-4 采用了若干重大的技术革新项目，其中包括一个适于增压的（尽管该机本身并不是增压的）圆形截面管状机身（带有底层货舱）、一副前轮起落架和一种更有效率的机翼剖面（NACA230 系列），这种机翼装有改进过的增升装置（开缝襟翼）。该机巡航时速度为 200 英里（320 千米），跑道长度约需 6000 英尺（1800 米）。

DC-4 及其战后发展起来的增压 DC-6 和 DC-7 系列以及与希巴德（H. L. Hibbard）十分类似的洛克希德星座机（Lockheed Constellation）都在从事远程空中运输，过去则是由 DC-3 承担这种近程空运。这些新机种的研制费用，每种约花去 3000 万美元（相当于 20 世纪 70 年代中期的 7000 万美元）。整个 20 世纪 50 年代，这些飞

机使西方的航空运输业能够在所有有人居住的大陆之间扩展它的航线网。

1945年，美国的国内航线大约运载了西方60%的运输量，1950年降至约43%。不过，美国国内航空交通仍然大幅度增长，1950年比1940年增加了6倍多，1960年比1950年增加了近3倍。其他国家的增长就更惊人了。在这20年间，最好的活塞式发动机飞机的专项经营费用降低了约75%（按不变价格计算）。这就是说，虽然实际票价大大降低了（1940—1950年间降价高达37%），但航空运输业早在20世纪50年代初便有盈余，大部分时间不需要政府补贴，尤其占西方运载量一半以上的美国各航空公司更是如此。

这一时期活塞式发动机飞机不断取得进步，至20世纪50年代后期，其巡航时速已达300—330英里（480—530千米），飞行高度达1.5万—2万英尺（4500—6000米），远程班机的载客量已增至约100人，其航程足以直抵北大西洋，时速增至约100英里（160千米），跑道长度约需7500英尺（2300米）。

在短程运输方面，20世纪40年代后期出现的拉登（I. M. Laddon）的双发动机康维尔（Convair）CV-240/440系列是优秀的机种。从1953年起，英国的爱德华兹（George Edwards）的涡轮螺旋桨维克斯子爵机（Vickers Viscount）和康维尔机一起作为首架非美班机，向一度居统治地位的美国型号飞机提出严峻的挑战。20世纪50年代后期，其他许多涡轮螺旋桨飞机加入这种飞机的行列，曾流行一时，后被喷气发动机所取代。

柏林空运表明了另一种空中运输能力。1948—1949年，英、美两国飞机在15个月内往该城运进了236.2万吨的供应物资，完全维持住了被封锁的210万柏林居民的生活。1957年经历的另一划时代的事件是旅客们首次宁愿乘机飞越大西洋，而不愿乘船横渡大西洋。

英国是最先采用喷气运输机的国家（1952年），由毕晓普（R.

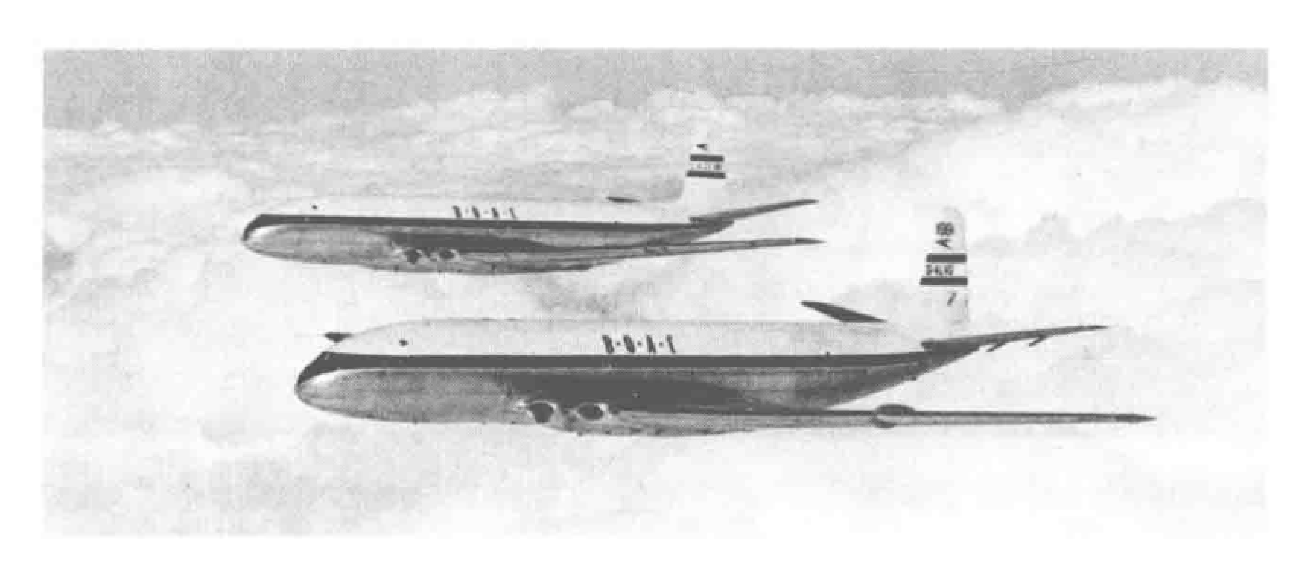


图 33.16 德·哈维兰"彗星 I 号"是世界上首批喷气运输机，1952 年。由于一系列事故，两年后停止使用。

E. Bishop）领导的小组设计的最初的德·哈维兰"彗星"机（de Havilland Comet）（图 33.16）存在很多缺点，大约两年后，它不得不退出飞行。因此，到 1958 年，西方才算开始了喷气运输机时代。与此同时，苏联在 1956 年也使其首架喷气运输机投入使用，这就是图波列夫（Tupolev）的 Tu-104。

喷气发动机最初是英、德两国研制的（第 33.9 节），但与其并行的有关空气动力学的进展多半起源于德国人在 20 世纪 20 年代后期开始的研究工作。1933 年，布泽曼（Adolf Busemann）在格丁根的研究已表明：薄的翼剖面可延缓和减少阻力（空气阻力）的剧烈增加，这种阻力是在飞机飞行速度接近音速时（马赫数 1，相当于 660—760 英里 / 时，即 1060—1220 千米 / 时，根据温度变化而有差异）发生的。1935 年，布泽曼提出使用后掠翼。1939 年，还是在格丁根，贝茨证明了这种机翼可以延缓和减少声障阻力的上升。利皮施（Alexander Lippisch）提倡的三角翼同样可嘉。按照以前军用机样式（第 33.12 节）所研制的新型喷气运输机将因空气动力学的发展而将高巡航速度推到极限。

各航空公司采用巡航速度接近音速的喷气运输机后，旅途时间



图 33.17 波音 707 开创了西方喷气运输机时代，1958 年。它为以后许多航空班机的研制树立了典范。

大为缩减。然而，在运输业务量上的反应最初令人失望。20 世纪 50 年代后期，航空运输业曾经历过一段衰退期。数载之后航运业才开始迅速发展，从而使新的大型飞机能获得充分的经济效益。迟早，喷气机速度和舒适程度的提高将显著地刺激空中运输的发展。此时喷气机的巡航时速达 500—550 英里（800—900 千米），巡航高度达 3 万—4 万英尺（9000—1.2 万米），时速为 120—125 英里（190—200 千米），跑道长度增至 1 万英尺（3000 米），这些都是极平常的事情了。到后来，新的更大型喷气运输机（有 150—200 个座位）的单位运行成本有所下降，与最好的活塞式发动机运输机相比，下降了大约 50%[1]。

20 世纪 60 年代末，定期航班一年运送旅客 3 亿人次以上，已成为多数国际航线和国内航线远程旅客运输的主要方法。世界上最繁忙的航线是穿越北大西洋航线，乘飞机旅行的人是乘船的 40 倍。航空货运也在迅速发展。航空运输业对于和平时期文明世界的重要性不亚于它在战争中所体现的作用。

1　最重要的新型喷气机是四发动机的美国波音 707（图 33.17）和道格拉斯 DC-8，前者是由韦尔斯（E. C. Wells）和马丁（G. Martin）领导的小组设计的。这些飞机的各种变形很快便满足了西方世界大部分的空中长途运输。每种型号飞机的研制费约 3 亿美元（按 20 世纪 70 年代不变价格为 5.5 亿美元）。三发动机的波音 727 成为最重要的中程机型，短程飞机为美国的道格拉斯 DC-9 和波音 737、法国的卡拉韦尔（Caravelle）和英国的 B.A.C.1-11。苏联也研制了类似的飞机，有伊柳辛 Il-62 和图波列夫 Tu-154 和 Tu-134。

33.12 超音速飞机、垂直或短距起落飞机

20世纪前半叶，带有动力装置的人类飞行终于实现了，接着又被用于实际目的，从而使飞机成为一种最重要的飞行器，这是由于它几乎是在国防开支的激励下，遵循十分明确的研制方向而达到的。以后的研制方向主要是：速度更快，升力更大，航程更远，飞行成本更低，同时要提高全天候飞行的能力，还要安全可靠。这些要求适用于各类飞机：从最小、非常别致的轻型娱乐机或轻型教练机，到最大型的高效能运输机和军用机。飞机的各方面改进是一种从未有过的复杂过程，它要求在研制和生产中做出极大的努力，以便利用空气动力学、结构、材料、仪器设备和动力装置等方面的出色进展，使机场能接受稳步提高的最低飞行速度和更多、更精密的地面设施（图33.18—图33.21）。20世纪50年代和60年代喷气机的最低时速从初期的约40英里（65千米）增至120—130英里（190—210千米）。如果不是因为在研制高升力装置方面取得了巨大进步，这种速度或许还会更高些。同时最大型和最高性能飞机起飞和着陆的滑跑距离也从1500英尺（450米）至少增至1万英尺（3000米）以上。

830

采用喷气推进和同时发展起来的空气动力学的有关成就（第33.11节）使飞机的性能获得了惊人的效果，特别是在飞行速度方面。好多机种不久之后就使时速增至亚音速区（500—600英里，或800—1000千米）。对此进行研究的是第二次世界大战时的德国人，他们首先把这一研究应用于新飞机和导弹的研制，但直至战后，这种研究的实际好处才得以实现。得到这种好处的首先是战胜国，德国进行飞机研制的权利在战后被剥夺。苏联的米格-15（MiG-15）喷气战斗机（图33.22）是首批广泛投入使用的后掠型飞机，这种飞机于1947年7月2日首次飞行。接着是美国的F-86战斗机（1947年10月1日首飞）和波音B-47轰炸机（1947年12月17日首飞）。这些飞机都得益于德国人的研究成果。

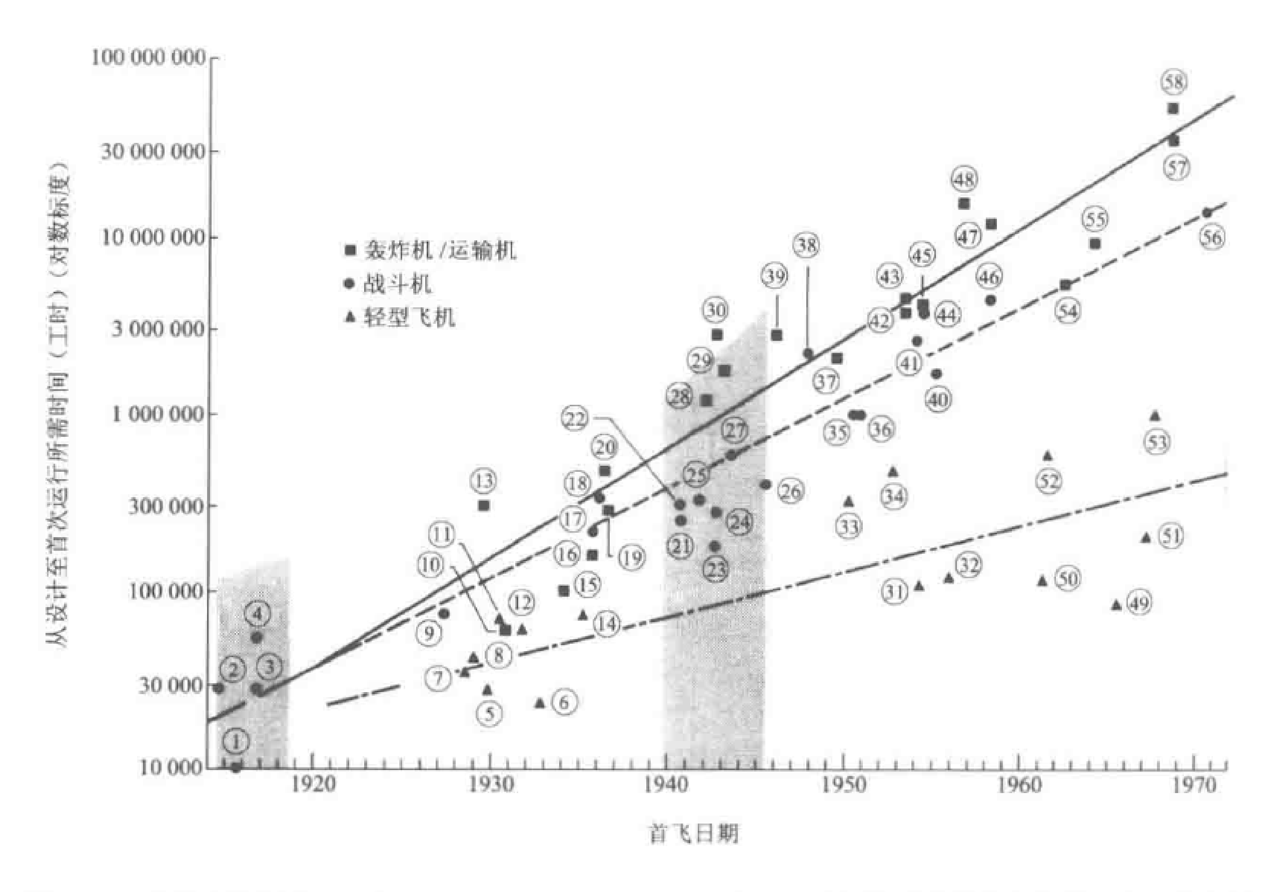


图 33.18　研制计划趋势。研制和生产各类飞机所需的工业投入（连同相应的投资）这些年来已稳步增长（参见图 33.19）。

① FE8
② FE2B
③ SE5
④ F2B
⑤ 裸鼻雀（Tanager）
⑥ 德·哈维兰 DH.84
⑦ 知更鸟（Robin）
⑧ 画眉鸟（Thrush）
⑨ 猛犬（Bulldog）
⑩ HP.42
⑪ 神鸟（Kingbird）
⑫ 德·哈维兰 DH.82
⑬ Do.X
⑭ 阿芙罗（Avro）652
⑮ 洛克希德 L.10
⑯ 道格拉斯 DC-3
⑰ 飓风（Hurvicane）
⑱ 喷火式（Spitfire）
⑲ 帝国（Empire）
⑳ 惠灵顿（Wellington）
㉑ P-51
㉒ 英俊战士（Beaufighter）
㉓ 暴风（Tempest）
㉔ 苍天（Welkin）
㉕ 萤火虫（Firefly）
㉖ 大黄蜂（Hornet）
㉗ 吸血蝠（Vampire）
㉘ 道格拉斯 DC-4
㉙ 洛克希德 L.049
㉚ 波音 B-29
㉛ 奥斯特（Auster）9
㉜ 阿格里科拉（Agricola）
㉝ 教长（provost）
㉞ 彭布罗克（Pembroke）
㉟ 猎人（Hunter）
㊱ 长矛（Javelin）
㊲ 彗星Ⅰ号（Comet Ⅰ）
㊳ F-86
㊴ 道格拉斯 DC-6
㊵ F-8
㊶ F-104
㊷ 胜利者（Victor）
㊸ F-100
㊹ 闪电（Lightning）
㊺ KC-135
㊻ F-4
㊼ 道格拉斯 DC-8
㊽ 波音 B-58
㊾ 岛民（Islander）
㊿ 猎犬（Airedale）
51 幼犬（Pup）
52 波音 206
53 射流（Jetstream）
54 VC.10
55 波音 727
56 F-14
57 波音 747
58 协和式（Concorde）

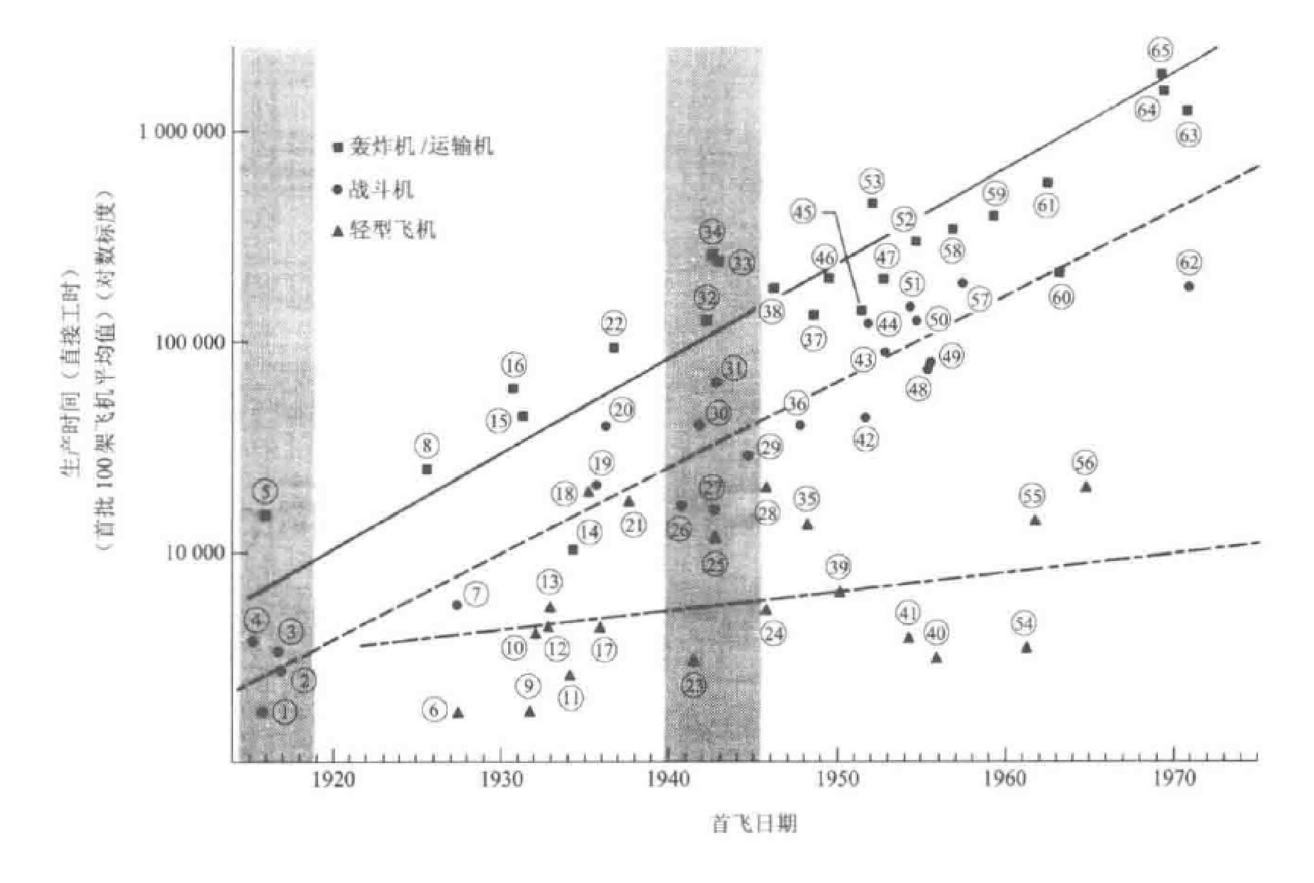


图 33.19 生产计划趋势。

① FE.8	② SE.5	③ F.2B
④ FE.2B	⑤ 0/400	⑥ 洛克希德 L.25
⑦ 猛犬（Bulldog）	⑧ 福克 F.VII-3m	⑨ 灯蛾（Tiger Moth）
⑩ 美童（Fairchild）24	⑪ 鹰（Eagle）	⑫ 德·哈维兰 DH.84
⑬ 比奇（Beech）17	⑭ 洛克希德 L.10	⑮ 容克 Ju 52/3m
⑯ HP.42	⑰ 天琴座鸥（Vega Gull）	⑱ 阿芙罗（Avro）652
⑲ 飓风（Hurricane）	⑳ 喷火式（Spitfire）	㉑ 牛津（Oxford）
㉒ 帝国（Empire）	㉓ 自力更生（Reliant）	㉔ 双子星座（Gemini）
㉕ AT-10	㉖ P-51	㉗ 暴风（Tempest）
㉘ 小鸽（Dove）	㉙ 海神（Sea Fury）	㉚ 萤火虫（Firefly）
㉛ 苍天（Welkin）	㉜ 道格拉斯 DC-4	㉝ 洛克希德 L.049
㉞ 波音 B-29	㉟ 空军司令（Aerocommander）500	㊱ F-86
㊲ 维加 V.700	㊳ 道格拉斯 DC-6	㊴ 教长（Provost）
㊵ 塞斯纳（Cessna）172	㊶ 奥斯特（Auster）9	㊷ 猎人（Hunter）
㊸ F-100	㊹ F3H	㊺ 无畏者（Valiant）
㊻ 彗星Ⅰ号（Comet I）	㊼ 火神（Vulcan）	㊽ F-104
㊾ F-8	㊿ 闪电（Lightning）	51 弯刀（Scimitar）
52 KC-135	53 波音 B-52	54 猎犬（Airedale）
55 波音 206	56 空军司令（Aerocommander）680	57 F-4
58 波音 B-58	59 道格拉斯 DC-8	60 波音 727
61 VC.10	62 F-14	63 洛克希德 L.1011
64 协和式（Concorde）	65 波音 747	

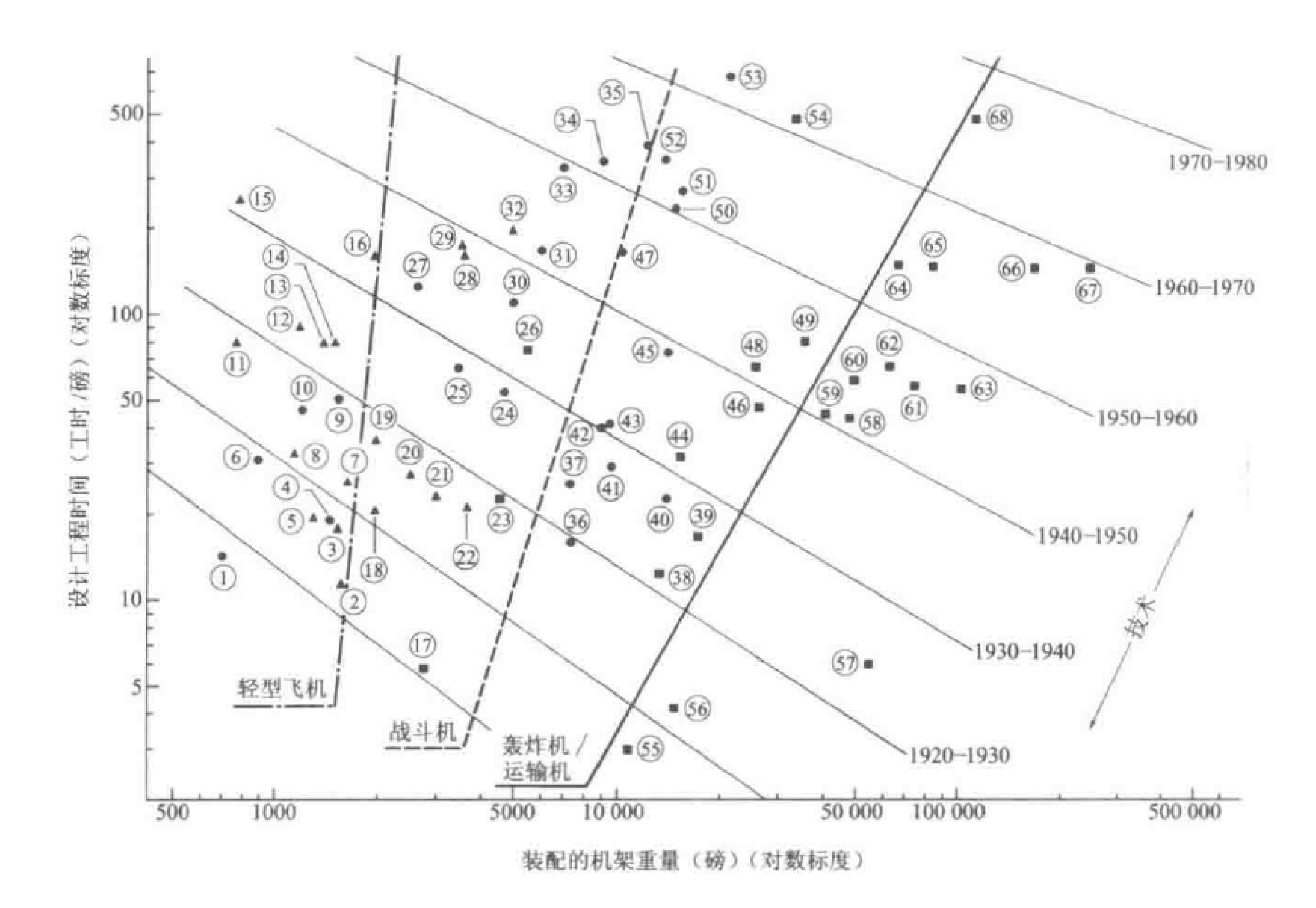


图 33.20　研制飞机的复杂性。随着技术的每一进展，研制和生产各类飞机所需的工业投入，相对飞机重量而言，在不断增加（参见图 33.21）。

① FE.8	② 德·哈维兰 DH.84	③ 裸鼻雀（Tanager）
④ FE.2B	⑤ 导师（Mentor）	⑥ SE.5
⑦ 画眉鸟（Thrush）	⑧ 知更鸟（Robin）	⑨ 猛犬（Bulldog）
⑩ F.2B	⑪ 灯蛾（Tiger Moth）	⑫ 奥斯特（Auster）9
⑬ 猎犬（Airedale）	⑭ 阿格里科拉（Agricola）	⑮ 幼犬（Pup）
⑯ 教长（Provost）	⑰ 福克 F.VII-3m	⑱ 德·哈维兰 DH.8B
⑲ 岛民（Islander）	⑳ 信鸽（Carrier Pidgeon）	㉑ 神鸟（King-Bird）
㉒ 阿芙罗（Avro）652	㉓ 洛克希德 L.10	㉔ P-51
㉕ 飓风（Hurricane）	㉖ 火神（Vulcan）	㉗ 喷火式（Spitfire）
㉘ 波音 206	㉙ 小鸽（Dove）	㉚ 吸血蝠（Vampire）
㉛ 猎人（Hunter）	㉜ 射流（Jetstream）	㉝ F-86
㉞ F-104	㉟ F-100	㊱ 海神（Sea Fury）
㊲ 暴风（Tempest）	㊳ 道格拉斯 DC-3	㊴ 帝国（Empire）
㊵ 英俊战士（Beaufighter）	㊶ 苍天（Welkin）	㊷ 萤火虫（Firefly）
㊸ 大黄蜂（Hornet）	㊹ 惠灵顿（Wellington）	㊺ 长矛（Javelin）
㊻ 道格拉斯 DC-4	㊼ F-8	㊽ 维加 V.700
㊾ 道格拉斯 DC-6	㊿ 闪电（Lightning）	51 F-4
52 F3H	53 F-14	54 波音 B-58
55 容克 Ju 52/3m	56 HP.42	57 Do.X
58 彗星 I 号（Comet I）	59 洛克希德 L.049	60 波音 B-29
61 KC-135	62 胜利者（Victor）	63 VC.10
64 波音 727	65 道格拉斯 DC-8	66 洛克希德 L.1011
67 波音 747	68 协和式（Concorde）	

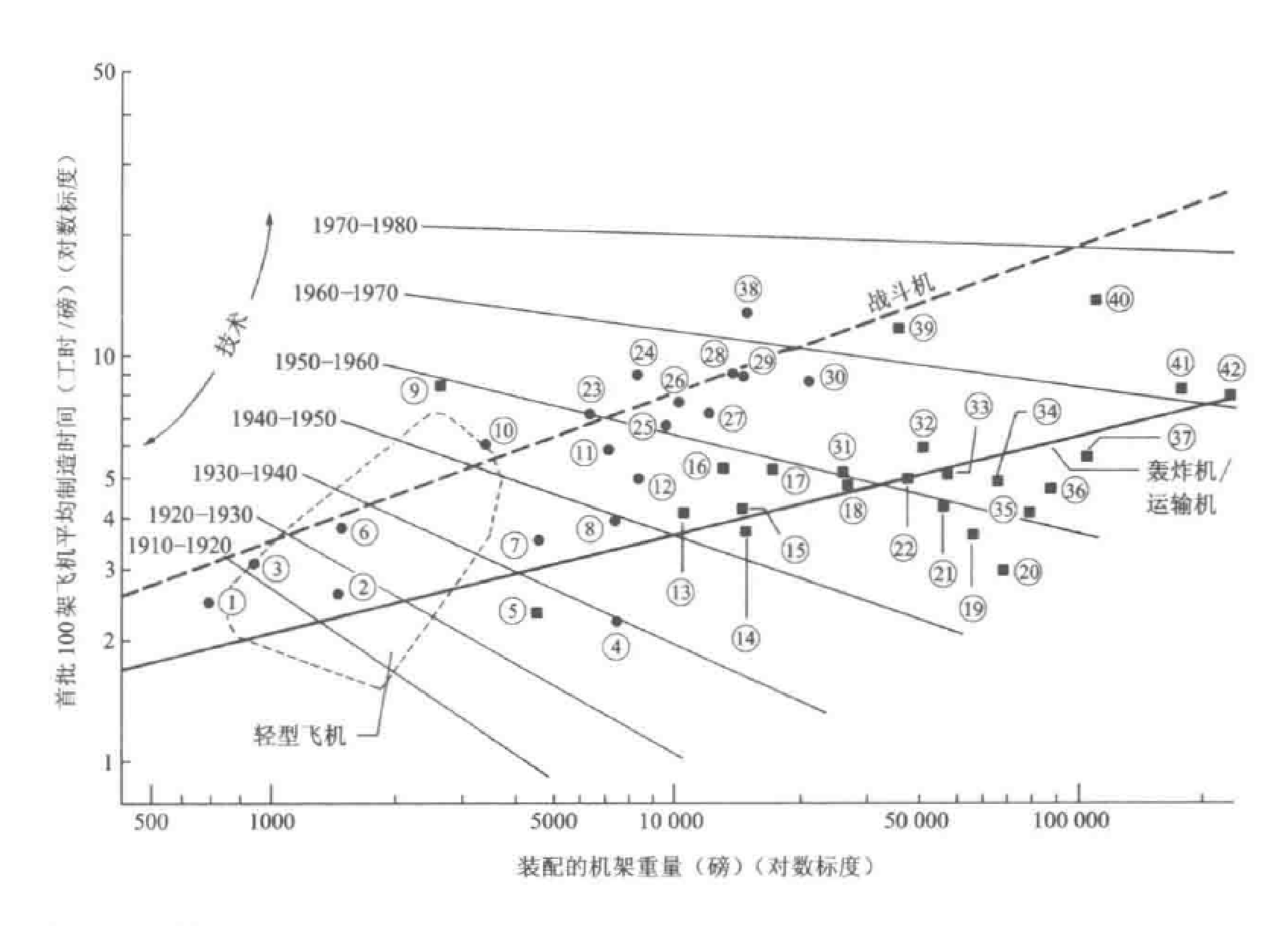


图 33.21　制造的复杂性。

① FE.8　② F.2B　③ FE.28

④ 暴风（Tempest）　⑤ 洛克希德 L.10　⑥ 猛犬（Bulldog）

⑦ P-51　⑧ 海神（Sea Fury）　⑨ 福克 F.VII-3m

⑩ 飓风（Hurricane）　⑪ F-86　⑫ 萤火虫（Firefly）

⑬ 容克 Ju 52/3m　⑭ 惠灵顿（Wellington）　⑮ HP.42

⑯ 道格拉斯 DC-3　⑰ 帝国（Empire）　⑱ 道格拉斯 DC-4

⑲ 火神（Vulcan）　⑳ 波音 727　㉑ 彗星 I 号（Comet I）

㉒ 道格拉斯 DC-6　㉓ 猎人（Hunter）　㉔ F-104

㉕ 苍天（Welkin）　㉖ F-8　㉗ F-100

㉘ F-3H　㉙ 闪电（Lightning）　㉚ F-14

㉛ 维加 V.700　㉜ 洛克希德 L.049　㉝ 波音 B-29

㉞ 胜利者（Victor）　㉟ KC-135　㊱ 道格拉斯 DC-8

㊲ VC.10　㊳ F-4　㊴ 波音 B-58

㊵ 协和式（Concorde）　㊶ 洛克希德 L.1011　㊷ 波音 747

高亚音速喷气机的采用导致了超音速飞机的研制。首次获得超音速飞行成功的是美国空军的耶格尔（C. E. Yeager）上尉。他驾驶的是贝尔 XS-1 超音速试验机，这是一架用火箭推进的科研飞机，在 1947 年 10 月 14 日由飞行中的波音 B-29 轰炸机发射出去。



图 33.22　朝鲜战争时著名的苏联喷气式战斗机米格 -15，首次利用了德国的超音速研究成果。图为该机使用后掠翼和尾翼面。1947 年。

首次获得超音速（1948 年 4 月 26 日的一次俯冲中）的常规飞机是 F-86 喷气战斗机的样机。首次生产出在水平飞行时速度超过马赫数 1 的飞机是美国 F-100 战斗机，这种飞机于 1954 年 9 月服役。美国的道格拉斯“太空火箭”（Skyrocket）科研飞机于 1953 年首次获得马赫数 2 的速度（两倍于声速）。在 20 世纪 50 年代，具有超音速能力的战斗机已成为极平常的事情。而在 20 世纪 60 年代，许多战斗机则获得马赫数 2 以上的最大速度，少数试验型或军用型飞机当时还达到马赫数 3。从 1961 年起，美国的 X-15——一种从空中发射的、火箭推进的科研飞机，获得的速度达马赫数 6 以上，飞行高度超过 50 英里（80 千米），这为太空飞行铺平了道路。苏联的加加林（Y. A. Gagarin）于 1961 年 4 月 12 日首次成功地进行了沿地球轨道的太空飞行（第 35 章）。

832

20 世纪 50 年代后期，对较小型的短程军用机来说，超音速已不

足为奇。正如我们已经见到的那样，此时大型亚音速喷气机也用于完成远程的军用和民用任务。远程的超音速机则迟迟未到。20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代初，少量美国和苏联的超音速轰炸机投入使用，但这些飞机通常是按亚音速飞行的，其最大速度主要供短暂的“冲刺”之用。巡航时按超音速飞行的远程军用机在 20 世纪 70 年代中期还是凤毛麟角。此时，英法合制的 B.A.C./ 宇宙空间协和式（Aerospatiale Concorde）客机（图 33.23）和苏联图 -144 超音速客机已投入使用。 834

大约从 20 世纪中期起，航空发展的另一条线是日益研制短距起落飞机（STOL）和垂直起落飞机（VTOL）。这类飞机从 20 世纪 50 年代起就在为军用和民用目的进行研制。20 世纪 60 年代和 20 世纪 70 年代，有若干种短距起落型飞机投入使用。研制这种短距起落型飞机并不是一种什么新想法：所有早期的飞机都能在相当小的空间内起飞

835



图 33.23　B.A.C./ 宇宙空间协和式飞机是首架超音速（马赫数 2）运输机，英、法两国联合研制，于 1976 年投入使用。

和着陆。但在求发展这一无情的压力下，飞机重量增至400吨之多，发动机功率达8万马力，所需跑道长达2英里（3千米）。这些庞大的飞行器及具有相同特点的略小些的飞机，已使远程运输和战争的战略与战术产生了革命性的变革，但它们也造成了环境问题（特别是噪声）。对此问题，短距起落飞机，加上新型的、声音较小的发动机，可能是个解决办法。

到1950年，直升机已是公认的垂直起落飞行器，并在广泛地不断扩大其用途。然而直升机只不过是固定翼机的补充，而不是同固定翼机进行竞争。此外，喷气发动机很高的功率-重量比为升力与推力的结合创造了新机会。而对固定翼机来说，自从凯利以来两者一直是分开的。英国的格里菲思提出把特制的、重量轻的喷气升力发动机用于垂直起落飞机，并于1953年由劳斯莱斯（Rolls-Royce）的“飞行床架”（Flying Bedstead）进行首次表演。1954年，美国的康维尔（Convair）XFY-1“立式垂直起落飞机”（Tailsitter）涡轮螺旋桨战斗机



图33.24 霍克鹞式旋转喷气机，是最先投入使用的垂直/短距起落飞机。1969年。

的样机是首架垂直起落并转换成水平飞行的飞机。1946年，法国人维博尔（M. Wibault）曾提出垂直起落飞机使用旋转喷气发动机。西德尼·卡姆爵士的英国霍克P.1127机于1960年第一次验证过这种系统。其他垂直起落系统则正在研制中，但旋转喷气的霍克鹞式机（Hawker Harrier）（图33.24）于1969年率先投入使用。

人们不断要求研制用于各种用途的较小型的短距起落飞机，既包括许多军用和通用飞机，也包括能在小型机场或处于噪声敏感区的机场担负定期运输任务。20世纪40年代后期的研制趋势已反映出这种需求。这种趋势在1950年以后已得到重视而方兴未艾。

参考书目

Beaubois, H. *Airships : an illustrated history.* Macdonald and Janes, London. 1973.

Brooks, P. W. *The modern airliner : its origins and development.* Putnam, London. 1961.

——. *Historic airships.* Hugh Evelyn, London. 1973.

Chambe, R. *Histoire de l'aviation.* Flammarion, Paris. 1948.

Davies, R. E. G. *A history of the world's airlines.* Oxford University Press, London. 1964.

Dollfus, C., Beaubois, H., and Rougeron, C. *L'homne, l'air et l'espace.* L' Illustration, Paris. 1965.

Dollfus, C., and Bouche, H. *Histoire de l'aeronautique.* L' Illustration, Paris. 1932.

Gibbs-Smith, C. H. *A history of flying.* Batsford, London. 1953.

——. *Aviation : an historical survey.* H.M.S.O., London. 1970.

——. *The re-birth of European aviation.* H.M.S.O., London. 1974.

——, and Brooks, P. W. *Flight through the ages.* Hart-Davis MacGibbon, London. 1974.

Hodgins, E., and Magoun, F. A. *Sky high.* Little, Brown, and Co., Boston. 1929.

Hoorebeeck, A. Van. *La conquete de l'air*, Vols. 1 and 2. Marabout Université, Verviers. 1967.

Joint Dod-Nasa-Dot Study. *Research and development contributions to aviation progress* (RADCAP) . Department of the Air Force, Washington, D. C. 1972.

Karman, T. Von. *Aerodynamics.* Cornell University Press, Ithaca, N. Y. 1954.

Kelley, F. C. *The Wright brothers.* Harrap, London. 1944.

King, H. F. *Aeromarine origins.* Putnam, London. 1966.

Miller, R., and Sawers, D. *The technical development of modern aviation.* Routledge and Keagan Paul, London. 1968.

Nessler, E. *Histoire du vol à voile de 1506 à nos jours.* Oeuvres Francaises, Paris. 1948.

Penrose, H. *British aviation*, Vols. 1, 2, and 3. Putnam, London. 1967, 1969, and 1973.

Petit, E. *Histoire mondiale de l'aviation.* Hachette, Paris. 1967.

Rae, J. B. *Climb to greatness : the American aircraft industry, 1920–1960.* M.I.T.Press, Cambridge, Mass. 1968.

Robinson, D. H. *Giants in the sky.* Foulis, Henley-on-Thames. 1973.

Schlaifer, R., and Heron, S. D. *Development of aircraft engines and fuels.* Harvard University Press, Boston, Mass. 1950.

Simonson, G. R. *The history of the American aircraft industry.* M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1968.

Stewart, O. *The story of air warfare.* Hamish Hamilton, London. 1958.

Taylor, J. W. R. *A picture history of flight.* Hulton Press, London. 1955.

——. *A history of aerial warfare.* Hamlyn, London. 1974.

——, and Munson, K. *History of aviation.* Octopus Books, London. 1973.

Turner, C. C. *The old flying days.* Samson Low, Marston, London. 1927.

Vivian, E. C., and Marsh, W. L. *A history of aeronautics.* Collins, London. 1921.

Ward, B. H.. ed.) *Flight—a pictorial history of aviation.* Published by Year—the Annual Picture History, Los Angeles. 1953.

Welch, A., and Welch, L. *The story of gliding.* John Murray, London. 1965.

第34章 导航设备

E. W. 安德森（E. W. ANDERSON）

依海员们之见，导航技术在1900年已处于稳定发展的时期。最初的罗盘是漂浮在一碗水上的一块铁矿石（第Ⅲ卷，边码523），后来研制成一个精密的仪器，罗盘箱内装有平衡架，箱上还镶有磁性材料以抵消船上铁器的影响。

对船速的测量开始是在一根绳索上打上许多结，把绳的末端系在一根圆木上抛到水面，用沙漏计时法，清点半分钟内放出的绳结数目；到1900年，已依靠拖于船尾的螺旋桨计数器。蒸汽轮船还可以根据发动机的转数来估计前进的速率。

水道测量站已有100多年历史，海图达到很高的标准。航道由浮标标出，夜间有大功率海岸灯塔的导引（第Ⅴ卷，边码181），这些灯塔是2000多年前建造的首批灯塔的后代。从1730年哈德利（John Hadley）发明第一台六分仪，以及1763年哈里森（John Harrison）著名的计时器试验成功以来，天文导航已成为海上航行确实可靠的技术。

然而，那时用于导航的设备和仪器都有一个共同特点：它们都依赖领航员的眼和手。尽管仪器可以用灯照明，但是在能见度很差的情况下，还是无法确定船位。在这种情况下，船员只能根据过去的航程和船速来推断自己的位置，并在靠近陆地时用测深锤绳不断测量水深，摸索驶向港口的航路。

1900年以后出现了能辅助（甚至能替代）人的感官的导航设备。自动导航系统能够在轮船启航前就瞬间确定船位，远胜于那些船上工作多年船员的能力。然而，这项技术有其致命的弱点，它只能根据事先设想的预定程序操作。它需要领航员的辅助，以确保其运行情况符合设计要求。

838

34.1 两项伟大的发明

1901年，马可尼（Guglielmo Marconi）成功地完成了他的早期工作，使无线电信号跨越大西洋，从而向世人宣告，通信领域增加了一项新的发展。1903年，莱特兄弟在基蒂霍克的沙丘间第一次使“重于空气的机器”飞了起来。从此，交通领域中增加了一项新发明，不过这一伟大的飞跃在过了近5年后才为人们所知晓。

起初，海员对无线电的反应只限于一种宽慰，即他们得到无线电的帮助就可以在海上核对他们的计时了。马可尼的工作部分来源于赫兹（H. R. Hertz）的实验。赫兹在1880年用抛物面反射镜把信号传送到几英尺远。这个实验证明了定向天线的可能性。到了第一次世界大战初期，无线电测向技术已经实现。于是，无线电注定赋予领航员一双“眼睛”，即使在浓雾中也能看见航路。

飞机的出现给导航带来的变化并未迅速产生影响，而且最初这种变化与飞机的三维活动性无关，与飞机比轮船快得多的速度也无关。莱特兄弟成功的关键在于他们懂得，尽管模型飞机必须具有稳定性才能飞行，但是由人驾驶的飞机要想飞行就不可能获得这种稳定性。

幸亏那时已经有了合适、可使用的控制传感器。陀螺仪最初只是一种供表演用的玩具，到1900年已成为精密仪器。实际上，后来的海上、水下、空中和外层空间控制设备的性能，是随陀螺仪制造方法的改进相对应地发展起来的。最后，出现了到处都可用于控制活动的自持导航系统。

不具有稳定性的飞机则需要一种控制设备，这种设备根本不同于船舶和车辆的控制设备。这一要求不仅对海上和地面导航系统产生了影响，使空间飞行成为可能，而且还对制造和生产过程控制方法的广阔发展产生了影响。现在让我们分别考察一下无线电和控制仪表这两个领域的早期发展情况。

34.2 无线电测向

与所有的技术领域一样，领航员通常也经常使用简称，把无线电测向（direction-finding）叫作 DF。最初采用的是环形天线。这种天线对无线电波的反应方式如同海面上一根木头随波起伏，依据上升和下降的幅度产生信号。当天线与电波传播方向成直角时，没有信号产生。这个零信号较之比较模糊的最大信号要清晰得多，因此被用来测定方向。

为找出信号来自环形天线的哪一边，需要转动天线，以测出电波强度的上升和下降。在环形天线前面 1/4 波长处，装有常规天线，它只对波峰和波谷有反应。它的输出信号加入环形天线接收下来的信号中去。因此它的最大正信号与环形天线信号的最大上升幅度相叠合（图 34.1）。当法向天线与环形天线连通时，总的信号强度将增加。

如果电波来自相反方向，法向天线将记录波谷，而环形天线将收到最大幅值的上升信号，因此在合上开关把两个天线连通时，总输出将减小。所以，从零信号位置开始转动环形天线，并与固定的“辨向”天线连通，就可以

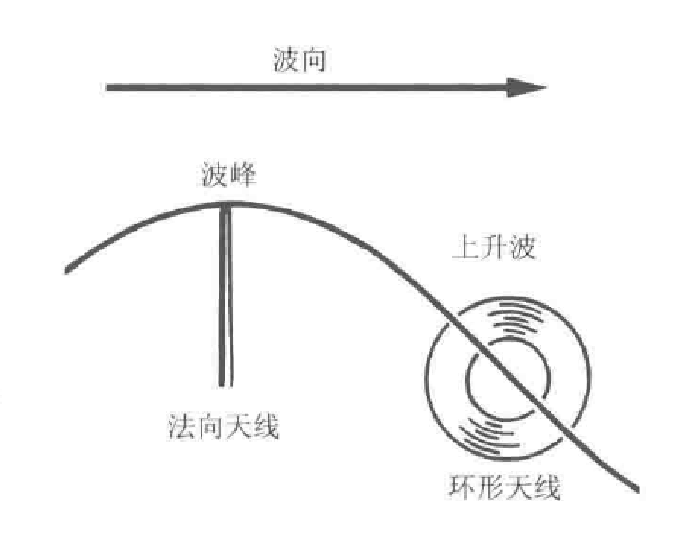


图 34.1 “辨向”环形天线。

解决方向不明的问题。“辨向”天线移动1/4波长，在电子学上是靠移相达到的。

第一批无线电接收机没有放大功能，船上的无线电测向需用大型的旋转环形天线，这一直是很麻烦的问题。因此，出现了两个固定环直角交叉的天线，接收的信号输入两个相应安排的小线圈。线圈以“浓缩”模型的形式再生无线电波，再用第三个小型线圈，即可旋转的“量角”线圈，测定信号发射源的方位。同样的装置也可用于陆上测向。

为了在海上测定船位，沿着海岸线设置了称为无线电信标的信号发射器，使船舶在各种天气条件下都可测定方位。类似的信标也设置在机场上，当时飞机上的无线电测向器已投入使用。还出现了其他类型的信标，如飞行员所熟知的NDB（不定向信标），它向所有方向同等地发射电波。

到了20世纪30年代早期，随着无线电技术的改进，已能够在飞机上安装小型环形天线。这一设备发展成为自动系统。只要驾驶员调到相应的频率，它就会显示电波传来的方向，从而找到要返航的机场的信标。这个设备理所当然地被称为无线电罗盘。但是在第二次世界大战后，它渐渐地获得了一个更体面的名字——自动测向仪（ADF）。

无线电测向站也建立在陆地上，用来寻找失事的船只或飞机的位置。它用两个固定的环形天线和一个测角装置来测定SOS信号传来的方向。20世纪30年代，环形天线传来的信号被放大，并被送入阴极射线管，操纵管中的正交导向板，进而控制“电子画笔”。用这个办法，把电波传来的方向扫描成从圆形阴极射线管显示器中心发射出的一条直线，然后对照安装于屏面四周的一圈罗盘环就可以测定方向。

1928年，美国采用了一种被称作无线电航向信标的无线电轨线系统，用来指挥飞机逐点地沿着地面上空开通的航线前进。每一站架设两个固定环形天线，一个天线发射一串莫尔斯电码A，另一个天线

发射一串对应的电码N。在4条对角线上，A信号和N信号混合成连续的长音(图34.2)。

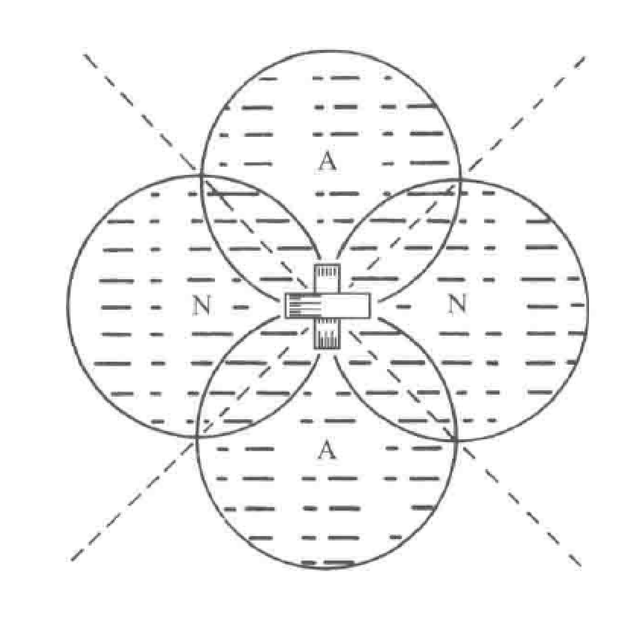


图34.2　无线电航向信标的工作原理。

飞机一旦偏离4条选定的方向线中的一条，就会开始接收到更多的A信号或N信号，这由飞机偏向对角线的哪一边而定。因此，飞行员只要拥有无线电收音机及无线电航向信标站的位置、呼号、频率一览表，在天气没有过分干扰的情况下，就能够飞越整个美国。澳大利亚和加拿大也建立了相似的信标站。而欧洲国家主要关心的是海外飞行，在他们相对较小的本土上，信标站的配备工作进展缓慢。

20世纪30年代末，天线已能够把发射波聚集为狭窄射线波束，用于帮助飞机进入跑道。早期的德国系统使用成对的成小角度的波束，其中一条携带A信号，另一条携带N信号。这样，飞行员用无线电收音机就可以沿着等信号线飞行。在不使用反射器的情况下，天线也会向相反方向发射，形成也可使用的“反向波束”。

841

34.3　仪器

尽管无线电设备既可用于轮船，又可用于飞机，但仪器仪表的发展通常起源于飞机的特殊需要。首要的是测量第三维的高度。登山运动员和气球驾驶员早就开始携带气压计，而飞机驾驶员也很快配备了被称为高度计的类似装备。高度计假定高度与气压有确定关系，以“标准大气压”为基数用英尺标定高度。然而，大气压是变化无常的，尽管把气象预报员提供的海平面实际气压作为基数，并根据当地气温作出修正，高度计所记录的高度还可能有很大的误差。潜水艇也装有

类似的仪器，记录水下的深度。后来又研制出一种气压式高度表。这种仪器有一个精心设计的真空膜盒和静压入口，可以指示高度或深度的变化程度。

早期的飞行员把手伸出舱外，根据气流对手的压力来估计飞行速度。但是，早在1911年，法国和英国的工程师们已在研究迎风运动的皮托管［以皮托（Henry Pitot，1695—1771）的名字命名］，把它改进成一个气压计。假定一个海平面标准大气密度，飞机运动速度所带来的附加压力则以英里/时为单位标定刻度。实际飞行高度的大气密度，可由置有海平面气压值和根据当地气温校正的高度计推算出来。

即使有一个能输入高度计和温度计的信息而自动修正的真实空速指示器，飞行员也不会总是使用它。因为未经修正的空速指示器，通过探测皮托管受到的正面压力，可以指示机翼的升力。只要指示器所提供的读数不下降到某一数值以下，机翼上的负升力就不会突然衰减而导致事故。所以，未修正的空速指示器是操纵飞机的基本仪器。装在潜艇和船舶上的皮托管就没有这样的要求。

在船舶导航中，船舶相对于地面的速度必须考虑海流和潮水的影响；在飞机导航中，则必须考虑风速。风速，特别是对慢速飞机而言，可能占实际空速的一个很大比例。侧风会使飞机偏航，飞机相对于地面的轨迹（航迹）就会偏转一个角度，这就是偏流角。早期的飞行员借助于画在机翼上的发散线来估计偏流角。后来，在增设领航员的飞机上，投入使用了专门的偏流测量仪。

842

第一台飞机罗盘仪是船员们所使用的那种罗盘，这种仪器被安装在有棉毛垫的盒子中以防震。除了赤道以外，地球的磁力线朝两极向下倾斜。磁倾角使罗盘在飞机侧倾转弯时产生重大误差，可能会指示错误方向，致使飞机转到错误的航线上去。磁倾角还会把磁针稍微地拉向一侧，在飞机改变方向或速度时，就会引起磁针剧烈摆动。所以，磁罗盘只适用于直线飞行和水平飞行。

陀螺仪 方向陀螺仪（DG）解决了机载磁罗盘固有的问题。方向陀螺仪在20世纪20年代早期就已出现在某远程飞机的尾舱中，但直到1928年才得到普遍使用。方向陀螺仪有一个由压缩空气驱动的陀螺仪转子，装在可转动的罗盘刻度盘上。飞行员在飞机直线和水平飞行时须不时地调整刻度盘，把读数调整到与磁罗盘一致。

方向陀螺仪不是第一个用陀螺仪转子来保持航向的仪器，因为从1895年起就已用这种方法来控制鱼雷行驶的路线了；而早在1909年，斯佩里（Elmer Sperry）就已经能够用这种方法控制一架美国水上飞机了。然而，在驾驶方面应用陀螺仪的杰出成就，要数陀螺罗盘了。1910年，安许茨-肯普费（Hermann Anschütz-Kaempfe）首先制造出陀螺罗盘，并把它安装在一艘德国军舰上。在此后的20年中，类似于图34.3所示的仪器替代了磁罗盘，成为大型船舶的主要驾驶仪器。

当外力作用于高速旋转的陀螺仪转子而使其倾斜时，陀螺仪转子就会产生反作用，在外力的垂直方向上发生进动或倾斜。当地球自转



图34.3 斯佩里Mk Ⅱ型船用陀螺罗盘。

时，除两极外的表面都会倾斜。如果陀螺仪的转子轴为东西向，并在它下面悬以重物使其保持水平状态，则地球倾斜会给陀螺仪转子轴一个力矩，使转子产生进动，直至转子轴成为南北向。转子轴对南北向的任何偏离，都会重新受到倾斜力矩，使转子轴进动而回到南北向。

把陀螺罗盘与轮船的舵轮联结起来，只需做出一点点努力。1916 年，安许茨 - 肯普费把第一台自动操舵机构安装在一艘丹麦船上。然而，普通的陀螺罗盘不能用在飞机上，因为飞机不是循着地面航迹飞行的，而且速度很快，以致即使南北向飞行时陀螺仪也会倾斜。对陀螺仪进行修正是可以做到的，但高速飞机在改变航向和速度时仍会出现重大误差。

843 航空的主要问题并不出在保持航向上，而是出在保持水平状态上，夜间长途飞行尤其如此。斯佩里于 1916 年制作的人工地平仪，是解决这个问题的最初办法。他用一个竖轴陀螺仪，下面坠以重物防止倾斜，加上连接机构，就做成了能够显示实际地平线的模型。这一模型总是保持同一方向旋转，并且上升和下降时也总是保持水平状态。在此后的 12 年内，这种仪器并没有大量生产，但不久以后，竖轴陀螺仪转子就和飞机操纵机构结合起来，产生了自动稳定器。到 20 世纪 30 年代末期，便出现了自动驾驶仪，用气动装置操纵飞机的翼面，通过方向陀螺仪操纵飞机的舵向。

陀螺仪也曾用来保持船舶的稳定。这个方法比较原始，即利用大型陀螺仪转子的能量去阻止船舶的横摇。从 1915 年开始，在大约 40 艘船上逐一安装了这个庞然大物。典型的陀螺仪转子重达 600 吨，直径为 13 英尺（4 米），转速为每秒 15 转。到 1925 年，日本人已开始使用对小型陀螺仪反应灵敏的发动机驱动的水下鳍板，来抑制行进中船舶的横摇。这样，现代船舶稳定器便问世了。

844

34.4 声呐和雷达的诞生

1916 年，潜水艇作为一大隐患促使协约国在军舰上安装了水下

拾音器，以监听敌方潜水艇发动机的声音。当然，潜水艇也会在听到对方军舰迫近时关掉自己的推进系统。因此，两年以后，这一“被动”系统被“主动”的阿斯迪克（Asdic）探测器（根据反潜艇探测研究委员会的英语名称缩写而命名）所代替。阿斯迪克探测器既可以发射声波脉冲，又可以接收回声。测量脉冲信号到达目标和从目标反射回来所花费的时间，就可以确定目标的距离。这种仪器用于和平时期，便产生了“声呐”，人们用它来记录船壳与海底之间的距离，通常连续记录在一条纸带上。到1930年，铅锤测深绳在船上迅速消失了。

后来，研究出把阿斯迪克系统发射的声波聚集为一条波束的办法。这样，不但可以测量距离，也可以测量方向。人们特别致力于把电能转换为声波，再把声波转换为电信号。与扬声器相似的变换器被压电晶体所代替，再往后，又被电致变形器件所代替。这种器件在有电流输入时就改变体积，而在其变形时又产生输出电流。到1960年，这样的系统已普遍应用于拖网渔船探测鱼群（边码350）。

令人悲哀的是，如此之多的技术创新都是由战争需要而引发的。在第一次世界大战中，潜艇的威胁触发了对声呐的研究；对大规模空袭的恐惧引起了为第二次世界大战做准备的雷达研制。早在1930年，美国就在研究过往的飞机对无线电测向信号的影响，而德国则在研制船舶探测系统。英国直到1935年才进入这个研究领域。法国虽然早已动手研究，但直到1939年才将它作为重大研究项目。

雷达的基本原理与声呐完全相同。沿着无线电波束发射脉冲信号，再由接收机拾取回波。最初，回波在阴极射线管屏幕上显示为线性扫描。“电子画笔”以恒定的速度从左到右移动，到达端点时熄灭并跳回起始点重新开始。这个过程是与脉冲发生器同步的。因此，发射出去的脉冲是稳定的急冲（即“尖头”向上的尖头脉冲），而回波的脉冲尖头则出现在它的右边；两者的间隔指示出距离。关于无线电波束方向的信息，可单独地从旋转天线的方位得到。

845 尽管英国的雷达研究工作起步比美国和德国晚了差不多5年，但到1938年，一连串不太完善的雷达站已在英国南部启动，而德国在1939年才刚开始建设。指导英国雷达研究工作的沃森－瓦特（Robert Watson-Watt）并不认为雷达是其最终目的，而仅仅把它看作整个系统的一部分。他是一位新型技术家（technologist），即系统工程师（systems engineer）的早期代表之一。他懂得这样的道理，用他自己的话来说就是："一流的东西我们总也得不到，二流的东西要花费太长时间，我们只得将就三流的东西。"

34.5 电子导航

早期的雷达天线太笨重，除大船外飞机和小船都不能安装。1939年，英国发明了空腔谐振磁控管，可以高功率地发射厘米波和毫米波。这样，就可以把雷达天线做成小型的抛物面反射器形状，俗称"碟状天线"。1942年，这种天线用于海上巡逻飞机，一年后又用于夜航战斗机和轰炸机。

地面雷达站已经在使用平面位置显示器（PPI）。阴极射线扫描从中心向外移动，熄灭后回到中心，这样就随着碟状天线的转动在屏幕上画出一系列辐射线。每收到一个回波，就使轨迹发亮，这样就产生一幅地图，飞机在这幅图上显示为快速移动的光点。

平面位置显示器被用于反潜艇巡逻机和进行盲目轰炸。图34.4是从飞机上拍摄的典型的雷达图。除非有风浪，水面不反射无线电波，因此在图上呈黑色。陆地的散射回波产生光亮区域，而高耸的城墙强烈地反射无线电波，呈现为光亮的斑纹。飞机上的碟状天线不可能做得很大，因此还不足以精确地指挥武器瞄准发射。船上和陆地上的天线则可以获得很高的精确度。到1943年，炮火瞄准雷达已投入使用。

从一开始，人们就认识到，区别敌我的手段是必须具备的。为此，在我方的飞机上安装一个小型发射机，就会向雷达波束回答一个信号，

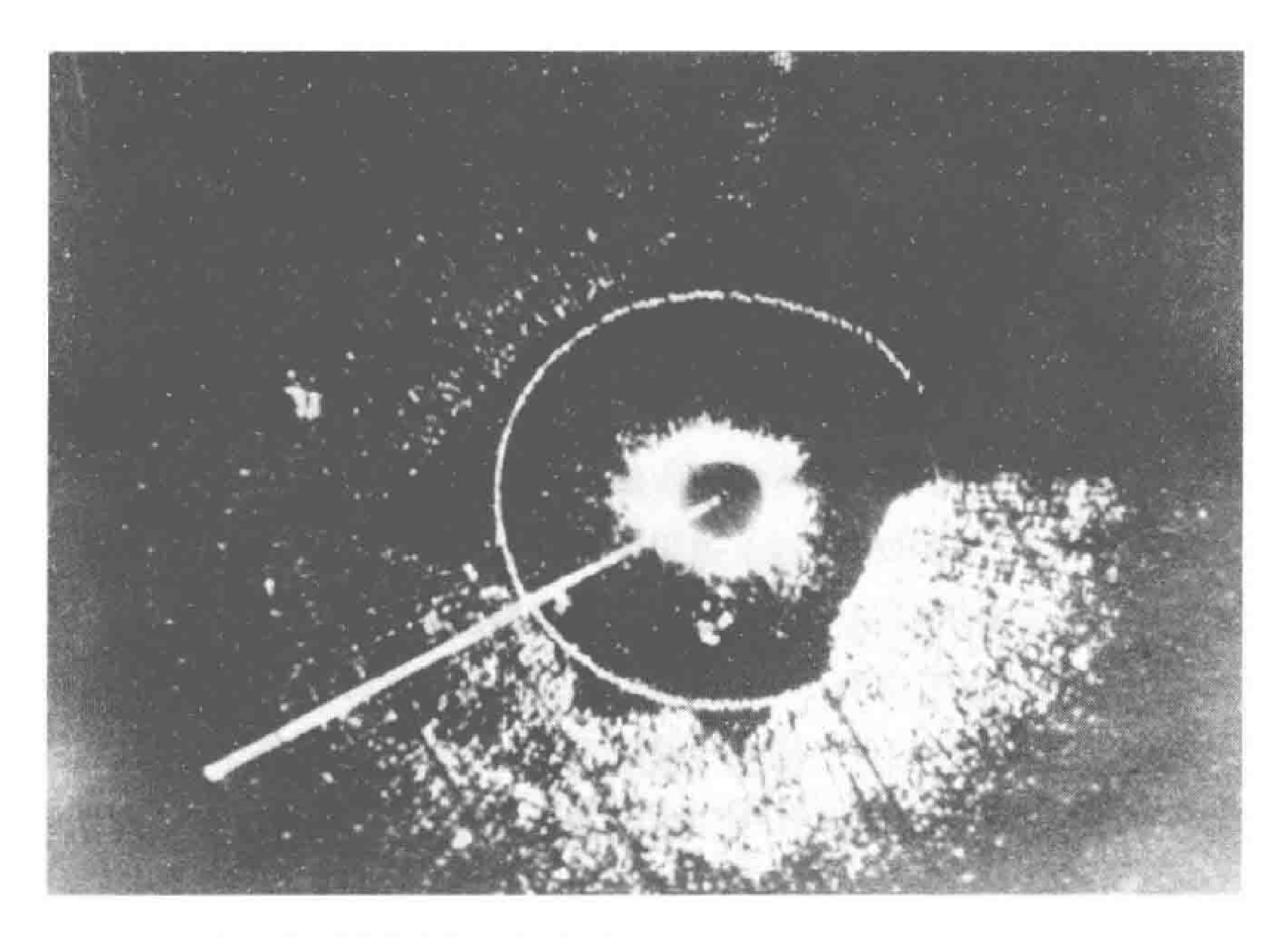


图 34.4　1943 年 12 月在英国东海岸 1.8 万英尺高空获取的沃什湾雷达图像。图上显示了斯凯格内斯、波士顿和萨顿桥机场。

在雷达图像上显示为一个识别记号。这种装置属于新的设备系列，其中回答雷达发射机发来信号的装置称为“应答器”。这样的系统叫作“二次雷达”，以区别于叫作“初级雷达”的原始回波装置。

846

高精度的“奥博”(Oboe) 轰炸系统使用二次雷达。“猫鼠”地面站发射信号，轰炸机上的应答机送回这些信号。“猫”站用接收到的应答信号来计算导航信息，以 A 信号或 N 信号的形式发送给飞行员，使他能沿着弧线穿过目标。“鼠”站跟踪飞机，并在将要投弹时发出一个信号。美国人使用“肖兰”(Shoran，短程导航) 对话系统。在这个系统中，由飞机首先发射信号，应答器则设在地面上。

其他的二次雷达系统还有机载发射机“雷别卡”(Rebecca)，它所使用的应答器“尤里卡”(Eureka) 一般由士兵竖立在地面上。飞机机身两侧的天线接收应答信号，从而获得粗略的左 - 右信号。另一种

应答器称为 BABS（进场波束指向标系），有一个波束引导天线，与雷别卡一起用作飞机进场的辅助设备。

如上面所讨论的，德国人尽管把他们的精力转向了其他领域，然

847

而在雷达的发展方面却并非不积极。到 1941 年，一个非常有效的雷达防御系统已在德国投入使用。但是，他们在机载雷达方面的研究工作却落后了，因为他们在 1943 年以前对磁控管一无所知。那一年，他们在击落了一架装有雷达的轰炸机之后，就立即动手制造机载雷达，用来引导他们的战斗机追踪英国轰炸机发射的电波。

德国科学家在发觉磁控管后立即作出反应，这说明正在进行的这场战争是新技术战争（new technological war）。在第一次世界大战中，人们认识到工程上的进步能够导致军事上的巨大成功。德国福克战斗机使用断续齿轮机构，使子弹穿过螺旋桨的旋转面向前方开火（边码 794），几乎成功地把协约国的飞机全部逐出佛兰德上空。

从那些日子里，还可以得到另一条教训。英国的坦克如果运用得当，有可能突破德军的防线，但由于军事指挥员没能力把握它的潜力而白白浪费了。第二次世界大战时，在高级军事参谋部中，由数学家和科学家组成的“运筹学”小组在决策中起了重要作用。

让我们来考察一些所谓“奇才的战争”（war of the wizards）的有关事例。德国人依靠非常精确的远距离无线电波束导航系统进行夜间轰炸。英国科学家便发射适当的无线电波给以回击，结果使德方波束对的零线被偏移到一边，从而使炸弹落到远离目标的地方。1942 年，德国人突然制造出一种干扰系统，致使英国的海岸雷达在一段时间内失灵，从而使被困在布雷斯特的两艘德国战舰得以逃出英吉利海峡。

到 1942 年，英国的 G 系统交付使用。一连串的点脉冲发射站在英国建立起来。轰炸机装有接收机来辨识脉冲到达的时间间隔。每一对脉冲波形成一条双曲线，这些双曲线画在标有时间差的领航图上，飞机根据这些双曲线确定自己的位置。成角度交叉的双曲线遍布德国

上空，这对于准确轰炸实在是太有利了。不久，德国人就开始发射干扰信号。不过这个系统对于返航的飞机是无用的。

不久，美国造出使用低频率的脉冲系统，并在太平洋周围成对地建立地面站。这个设备被称为“罗兰”(Loran，远距离导航设备)，能够使船舶和飞机确定自己的位置，而且从未被日本人有效地干扰过。美国有一个非常精确的中频双曲线系统，专门用来引导诺曼底战役中的机群。这个系统中的接收机是测量相位差的，所以这个系统被称作“台卡”(Decca)。台卡系统和罗兰系统、G系统一样，是导航辅助设备新家族的一员。这类设备提供覆盖一个地区的位置信息，而不是特定地点的信息。

848

科学家并不总是做破坏性的事情。为了在海上确定位置，德国人研制了长波的“桑尼”(Sonne，相位控制的区域无线电信标)信标系统，后来又被称为“康索尔”(Consol，电子方位仪)。在这个系统中，携带莫尔斯电码的各种波形以电子旋转通过各小波瓣。潜水艇用一个法向环形天线，收听到摩尔斯电码，就可以识别波瓣，确定自己位于这个波瓣内的方位线。第二个桑尼站又给出第二条方位线，这样就可以确定自己所在的位置。科学家们确认，桑尼系统对同盟国的舰船和飞机十分有用，因为它们既不会受敌方电波的干扰，也不会受敌方电波的欺骗！

34.6 导弹和仪器

早在1918年，无人驾驶的轰炸机就已出现在英国和美国的绘图板上。后来，协约国把精力集中在电子学上，而德国人却设计出导弹(第35章)，并在20世纪30年代初期制造出火箭发动机。这种武器的第一个成品是1943年出现的V-1型无人飞机，由自动驾驶仪操纵。加速计记录航迹的偏差；气压计给出高度信息；火箭头部的一个小型螺旋桨带动计数器，当该计数器记下的路程符合原定距离时，就使火

箭进入最后的俯冲状态。它的精确度并不高，因为它依赖天气预报所估计的英吉利海峡上空的风力与风向。

第二代导弹是经过很多革新的 V-2 型火箭。火箭上装有一个积分陀螺仪。这种陀螺仪的转子框架是不平衡的，因此由发动机推力而产生的加速度就造成了陀螺转子的转动。当转动达到预定值时，就会把发动机切断，导弹就以超音速沿轨道到达目标。德国人还发明了由母机尾翼下线轴拖出细电线传递信号来操纵炸弹的办法。如果欧洲战场的战争不结束，德国很快就会全力生产“瓦塞法尔”(Wasserfall)，即一种由雷达引导的反飞机导弹。

这 3 个极为成功的技术原理成为后来洲际弹道导弹、反坦克导弹和反飞机导弹的基本模式。同时，同盟国估计，战争将会在这些新系统投入使用之前结束，而且战争行动一结束，他们就十分明智地把收罗德国技术家放在最优先的地位。因此，曾领导 V-2 型火箭研制工作的冯·布劳恩，后来为美国发射了第一颗人造卫星，并为阿波罗太空飞行研制了土星号火箭。

849

V-1 型和 V-2 型火箭的一个很大优点，在于它们具有抗干扰性和抗欺骗性。类似考虑的结果，引起人们对天文导航经久不衰的兴趣。德国人制造了极易使用的陀螺稳定六分仪。同盟国研制了用于飞机的气泡六分仪。这一气泡六分仪配上精致的图示系统，利用光学投影仪把观察到的东西投射到领航图上，再转变为图上的位置。

在海上和空中，采用了自动标图仪。它根据船舶和飞机的进程，在航图上描绘出光点的轨迹。稳定轰炸瞄准器也被采用。它有两种类型。英国人喜欢采用空速、风速和地速的矢量三角形模式；美国人则偏爱转速计瞄准器，用于跟踪目标进程，并根据角速度和高度自动投放炸弹。

或许值得指出的是，德国人和美国人的技术哲学(technological philosophy)不同于英国人的技术哲学。德国人特别倾向于用简单的设

计、优美的制作来达到要求的精度，而英国的工艺技术一般粗糙得多，通过不太精致但很有效的复杂组合来达到要求的精度。

通过这些不同的方法，控制系统，特别是自动驾驶仪，逐渐得到了改进。液压操作机构代替了最初的气动，而大战后又被全电动系统所取代。陀螺仪改由电动机驱动，采用了比率陀螺仪。它的转动力受一个弹簧的抵抗，从而记录纵倾和侧倾的转动速率。

飞机磁罗盘朝两个不同的方向发展。在战斗机中，探测器装在远离发动机的翼梢上。在大飞机中，方向陀螺仪和磁性元件组装为笨重的"陀螺 - 磁"罗盘。美国人用制作优美的陀螺仪来稳定探测器。英国人则用较粗糙的陀螺转子，这些陀螺转子通过不断接通磁性探测器进行校正。最终，人们偏向于英国人的系统，因为它可以把笨重的陀螺仪放在机舱内，而把小巧的磁性元件放在翼梢。

34.7 避撞

在任何形式的导航中，第一步是找路。一段时间以后，其他人跟随着先行者的足迹，在田野中踩出一条小路，然后竖立路标。找路渐渐变得容易一些了，但又出现了一个新问题：与其他旅行者相撞。这样，在整个田野里，重点就从找路转移到避撞。

850

自 19 世纪末以来，海上相撞的问题渐渐变得严重起来。在能见度很差的情况下，除了减速别无他法。在拥挤的海路上遇到雾天，恐怕只能抛锚停船。海员用雷达就能看到其他船只而避让。在战后 10 年中，雷达使用平面位置显示器和形似一片荷兰乳酪的天线，成为所有吨级船舶的常规设备。据说，这短短 10 年花在导航设备上的金钱和人力，比以前数百年航海史中所花的总和还要多。除雷达外，"台卡"已成为标准的短距离导航辅助设备，而"罗兰"则成为长距离导航设备。

最初的雷达图像把船只显示在屏幕的中心，向上方移动；在飞机

飞行中，罗盘信号的输入，给出一个正北方向在上面的图像。水手们喜欢看到显示器所显示的船舶行驶方向，是他们肉眼看到的方向。但是，由于显示器所显示的是相对运动，便带来了其他船只速度的错误印象。例如，在阴极射线管的屏面上，一个浮标好像是向下方移动的船只。后来，“真实运动”显示器被设计出来，但直到20世纪50年代才投入使用。阴极射线管上辐射线的聚点是随船速移动的，因此陆地在屏幕上的图像是不动的。过了一段时间，聚点在屏幕边缘消失，必须用电子移位的办法把它重新显示在屏幕上。然而，在这种显示器上已经能够正确地表示出其他船只的真实运动，而浮标则显示为静止的点。

我们已经看到，雷达能够辨识陆地的轮廓。在船上，领航员用光学仪器把雷达图像投影在海图绘出的海岸线上。设在海岸线关键点上的应答器可以更可靠地辨识海岸线。雷达信号最后被输入计算机，以期能自动地向海员提出避撞的警告。

人们发现，在空中迎面而来的飞机所呈现的目标太小，并且移动得太快，以致来不及采取单独的避撞行动。因此，战后很快就研制出空中交通管制系统（ATC），使沿着航线飞行的飞机保持适当的间距。雷达是地面管制站的工具。它不仅包括平面位置显示器以显示水平形势图，而且也包括测高雷达以测量垂直位置。发射小波瓣的雷达也用于引导飞机下滑和着陆。雷达又一次成为避撞的主要设备，后来还用计算机加以辅助。

851

商业飞机仍装备机载雷达，但仅仅是为了探测随雷暴和大涡流而来的大团水滴。人们还记得，高度计测量气压的办法不能准确地反映飞机的海拔高度。随着空中交通管制的发展，这一读数成为避撞的关键。如果两架飞机在各自的高度计上读出不同的数字，譬如说相差1000英尺（300米），它们就不会相撞。至于高度计读数给出相当含糊的绝对高度，并不那么重要。

34.8 机载导航辅助设备

在美国卷入第二次世界大战的时候，其他飞机生产国一直把精力集中在军事需要上。同盟国一致同意，美国继续生产运输机。随后，1944 年在芝加哥创立了国际民航组织（I.C.A.O.）。此后，在国际民航组织的批准下，飞机设备愈来愈标准化。

无线电航向信标，逐渐集中于空中交通日益增长的特定航线上。中频容易被干扰。人们发现，在长途飞行中借助音频仪器操纵飞机，令人感到疲劳。因此美国推出了一种新型的“点导航”系统，最初称为“奥尔布”(ORB，全向无线电信标)，后来发展为“伏尔”(VOR，甚高频全向无线电信标)。

每一个信标发射两个由稳定振荡调制的连续波。一个来自用电子方法使其旋转的波束；另一个来自固定天线。两个调制波是这样安排的：当波束指北时，同步；指东时，相位差为 90° ；指南时，相位差为 180° ；指西时，相位差为 270° 。在飞机上，测到调制波的相位差，就在表盘上显示方向。

在国际民航组织中，“点导航”的伏尔导航系统的倡导者与英国的台卡导航系统即短距离海上“面导航”辅助设备的倡导者之间，进行了旷日持久的竞争。虽然最后选择了伏尔导航系统，但如果采用台卡系统，原本可避免交通集中在伏尔导航站的毛病。然而，计算机的引入，就可以实行用点作参照系的面导航。在每个伏尔导航站都有计划地安设一个应答器，由飞机上简单的全方向雷达与它们联系。这种设备被称为 DME(测距仪)，引入的时间还不太长。

852

同时，无线电临场引导波束渐渐地被 ILS(仪表引导着陆系统)所代替。仪表引导着陆系统设计有垂直的高精度的超高频“下滑路线”波束和水平的甚高频“定位信标”波束。两束调制波代替 A 信号和 N 信号，叠加在发射波上并加以比较，其结果显示在“上 - 下”和“左 - 右”复合仪表上。这种仪表的早期类型如图 34.5 所示。后来它

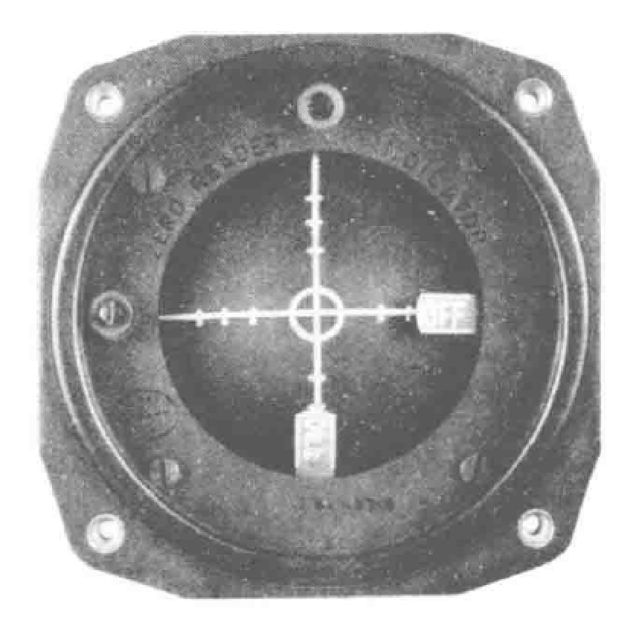


图 34.5　飞行零位指示器。

与人工地平仪相结合，形成“姿态指示器”。

伏尔导航系统和仪表引导着陆系统两者所给出的信号，可以耦合到自动驾驶仪中，这样就为飞机的“按钮”导航和自动着陆开通了道路。自动着陆需要一个无线电高度计来测量飞机与地面之间的距离。它是一个波束向下的连续波雷达，发射的调制波与回波进行比较。因此测量相位，就可以确定飞机在跑道上空一个有限范围内的高度。让人们饶有兴趣的是，相位差测量法出现在战后研制的如此众多类型的设备中。

第二次世界大战前，民航飞机一般配备一名到两名驾驶员，海外飞行再带一名领航员。战后，这种做法持续了一段时间。在新型的高空飞机中，从压力舱顶伸出一个潜望镜式的六分仪，就可能实现天文导航。然而，到 1950 年，已经清楚地表明，无线电能够应用著名的多普勒原理测量速度。其实，早在 1944 年，这种方法就已被用于探测运动的目标。

853

人们曾一直认为，多普勒雷达对水面无效。但英国工程师们坚持研制，终于做到除十分平静的水面外可以记录沿机身方向及垂直方向的速度。这一性能与新型的陀螺 - 磁罗盘相结合，就可以把地面位置的连续图像提供给驾驶员。飞机则不再需要领航员和潜望镜式的六分仪了。

飞机仪器没有产生根本的变化，只是增加了警报器以显示发生的故障。此外，高速喷气式飞机装有马赫表，把飞机的空速记录为马赫数。马赫数是音速的倍数［以马赫（Ernst Mach，1838—1916）命名］。

34.9 惯性导航

V-1 型和 V-2 型火箭的自动驾驶仪，为发展不需外部信息源就能跟踪飞行器本身位置的系统铺平了道路。起初，这些“惯性导航器”是为了操纵新型远程弹道导弹而研制的。美国人和俄国人在德国技术人员的帮助下建造了这种导弹。“惯性导航器”的目的是保证火箭发动机在 2—3 分钟的燃烧结束前，弹头进入瞄准目标点的正确轨道，并根据推力中断时的位置以正确的速度飞行。

在这样短的时间内保持足够的精确度，采用加速计和积分仪是合理的。这也表明，导航技术的新分支是以加速度的双重积分为基础的。然而，累计的误差将取决于运行时间的平方，因此误差快速增长。幸而人们已弄清楚，加速计有效地测量本地的重力方向，而陀螺仪又“记住了”航途起始点的重力方向，依据两个方向的差别就可确定位置。因此，关键的部件是陀螺仪。例如在北极冰盖下长途航行的潜水艇，对加速计精度的要求就比较低。然而，陀螺仪偏移一分角度，起始点的“记忆”将会出现一海里的误差。

854

34.10 技术家

火车和汽车仅仅只在早期被公众看作危险的交通工具。然而，以每英里旅客死亡人数来计算，飞机虽然比私人汽车安全 100 倍，却从未摆脱其不安全的名声。因此，飞机导航设备和仪器的制造者，总是煞费苦心地确保其产品的可靠性。从早期开始就建立非常严格的检查制度，以保证一旦发生事故，制造者无须承担重大责任。在多数情况下，检查规程由政府机构确定，它影响导航各领域的设计工作，并对整个行业有广泛影响。

为了满足严格的安全要求，产生了“可靠性工程师”(reliability engineer)，他的任务就是保证设计符合必需的安全标准。在制造过程一开始，“质量工程师”(quality engineer)就行使职权，确保所使用

的材料和部件能通过最终试验。根据专家的工作需要，出现了新型的“净化室”，导航设备的加工要在无菌操作条件下（只能让人联想到外科手术室）进行。

为了保证设备不失灵，采用了一种冗余原理。最初采取人员冗余的方式，如商业飞机配备两名驾驶员和两套仪器。这种方法十分宝贵，还有一个理由是：新的复杂系统（new complex systems）要经过长期试验，才能被证明可靠；这种试验的时间太长，以致在被人们接受以前就可能过时了。然而，采取精心设计的冗余方式，每一部件的可靠性就可以在较短的时间内极其安全地实地测试出来，而整个冗余系统（redundant system）的事故率可明确地估计出来。

我们在介绍战前雷达情况时已提到了“系统工程”（systems engineering）（第 43 章）。尽管这个术语并不是起源于导航领域，但是这种处理问题的新方法在第二次世界大战期间和战后的仪器设备的发展中，明显地得到应用。无线电和仪表的综合、自动驾驶仪与仪表引导着陆系统以及无线电高度计的结合，都是典型的例子。1948 年晶体管被发明出来，随后出现了微型组件，随之出现了数字计算机。数字计算机能把异常分散的设备结合在一起，为共同的目的服务。

856

于是，系统工程师大展所长，发挥着技术红娘（midwife of technology）的作用，保证及时、有效地交付新的极其复杂的系统。系统工程师的第一个步骤是辨识目标，这可能是极其困难的工作，因为各个具体目标之间可能产生矛盾。然后就要建立数学模型，进行优化研究，比较各个方案的优点。

在选出最好的解决办法之后，就制作流程图，用以表明不同的过程怎样相互吻合来满足预定日期的要求。原型设备一般要在模拟器上进行试验，采用数学模型的方法模拟设备在实际操作中将会遇到的各种情况。从这时起，系统工程师不断地回到他原来的发问角色，不仅要问“怎样”（How），而且要问“为什么”（Why）。

表 34.1 显示从 1900 年到 1950 年这半个世纪中整个导航技术的发展情况。在这个时期，认真负责的工程师吸取了这样或那样的经验教训。导航只是这样一个问题：引导人们及其货物越过陆地和海洋，通过天空，通过外层空间。它们所涉及的方面，没有一个能离开对社会因素和环境因素重要性的认识。这或许是导航技术给予我们最大的经验或者教训，即必须把技术作为一个整体来对待。

表 34.1　1900—1950 年的导航技术

日期	无线电		控制仪器设备	
	导航设备	雷达（及声呐）	仪表	控制设备
1900 年以前			六分仪 时计 磁罗盘 测程仪	鱼雷操纵系统
1900 年				
1910 年			高度计	
1920 年	航海无线电测向仪	（潜艇探测器） （回声测深仪）	空速表	实验性自动驾驶仪 船舶稳定器
1930 年	无线电航向信标 机载无线电测向仪		方向陀螺仪	人工地平仪
1940 年	无线电导航系统 “台卡”“罗兰”	陆基雷达 海军雷达 机载雷达	气泡六分仪 陀螺 - 磁罗盘	气动和液动 飞机自动驾驶仪 导弹自动操纵器
1950 年	VOR 和 ILS	船载雷达和空中交通管制雷达 无线电高度计	潜望镜六分仪	电力自动驾驶仪
1950 年以后	测距仪	多普勒仪（鱼群探测声呐）	皮托计速器	惯性导航器

参考书目

Anderson, E. W.*Principles of air navigation.* Methuen, London. 1951.

Hitchens, H. L., and May, W. E. *Form ladestone to gyro-compass.* Hutchinson, London. 1952.

International Hydrographic Bureau. *Radio aids to marine navigation.* Monaco. 1952.

Porter, A.*Introduction to servo-mechanisms.* Wiley, New York. 1950.

Puckett, A. E., and Ramo, S. (des.) *Guided missile engineering.* McGraw Hill, New York. 1958.

Richardson, K. I. T. *The gyroscope applied.* Hutchinson, London. 1954.

Sonnenburg, G. J.*Radar and electronic navigation.* Newnes, London. 1952.

Weems, P. H. V., and Lee, C. V.*Marine navigation.* Van Nostrand, New York. 1952.

The following books lead on from 1950 :

Anderson. E. W. *Principles of navigation.* Hollis & Carter, London : Elsevier, New York. 1966.

Draper, C. S. W., Wrigley. W., and Hovorka, J. *Inertial guidance.* Pergamon Press, London and New York. 1960.

Ridenour. L. N. (ed.) .*Radar system engineering.* McGraw Hill, New York. 1965.

Savant, C.J.*Control systems design.* (2nd edn.) . McGraw Hill, New York. 1964.

第35章 航天技术

安东尼·R. 米凯利斯
（ANTHONY R. MICHAELIS）

1969年7月20日至21日，美国人阿姆斯特朗（Neil A. Armstrong）在月球表面跨出了“小小的一步”。此事距戈达德（R. H. Goddard）的第一枚液体燃料火箭飞行获得成功43年；距苏联发射第一颗人造地球卫星12年，而距加加林（Yuri A. Gagarin）完成人类首次在宇宙空间绕地球飞行之日仅有8年。到1972年12月14日，已有6个人在月球上行走过，6个人在上面驾驶过车辆——“阿波罗”计划确实是人类的一个巨大的技术飞跃，是有史以来最伟大的一次飞跃。

第二次世界大战期间，在德国军方的推动下，耗资约1.5亿美元的A-4（V-2）型火箭的研究与开发工作获得了成功。与此同时，美国政府利用其军队、工业界和最优秀的科学家，为生产第一颗钚原子弹的曼哈顿计划（Manhattan Project）花费了20亿美元。美国国家航空航天局（NASA）用了240亿美元的预算来实现“阿波罗”计划。然而美国国防部的贡献并非微不足道，“阿波罗”计划不失为和平时代技术上的一大成就。该计划在预定的10年期限内完成，费用也并未超出原定的预算范围。在人类历史上从来没有过如此众多的技术难题在这么短的时间内得到解决，而耗资却如此之少。不幸的是，有3位宇航员在1967年1月27日的“阿波罗”密封舱地面试验中因失火而丧生，

他们是查菲(R. Chaffee)、格里索姆(V. Grissom)和怀特(E. White)。

相反，苏联人的空间研究计划完全是由一个秘密的军事官僚机构控制的。最初他们获得的成功是巨大的，但在他们的“联盟号”系列宇宙飞船出现困难后，很快就落后了[1]。苏联人在各方面均作了很大的努力想要率先登上月球，然而他们在“联盟号”飞行中失去了4名宇航员——科马罗夫(V. Komarov)(1967年4月)、多布罗沃尔斯基(G. T. Dobrovolsky)、沃尔科夫(V. N. Volkov)和帕采耶夫(V. I. Patsayev)(1971年6月)之后，他们的月球计划就流产了。

最终分析的结果表明，“阿波罗”惊人的成功应归功于一场管理革命，它把政府、工业界和大学融合起来结成一体。实际上这意味着创造一种新的体制和方法，尤其是在质量管理方面，常由计算机程序控制，在时间和空间上指挥着所有与“阿波罗”计划有关的50万人员的智力和体力活动，只有这样才能使每个分担者作出最卓越的贡献：工业界能提供其研究和生产设备、技术专长及可机动的人力，而这是政府部门在经济上无法匹敌的。美国航空航天局主要发挥整合和指挥的功能。它起着中心的作用，将管理技能和经验从一个工业公司传送到另一个工业公司。大学积累了许多世纪以来所取得的各门学科知识而形成基础科学(basic sciences)，学院的智慧才能给我们带来空间技术惊人的飞速发展。

在设计与大量生产A-4型火箭的过程中曾出现过这场管理革命的先兆，而它在曼哈顿计划中再次完整地出现。由于这两次所谓“大技术”(big technology)的范例都是秘密的战时行动，所以人们没有从这两个范例中获得教益。洛斯阿拉莫斯实验室主任、第一批原子弹研发工作的卓越组织者奥本海默(Robert Oppenheimer)曾发表过以下看法[2]：“我们知道，避免错误的唯一办法是找出错误，而找出错误的唯一办法是集思广益。我们也知道，由于保密而未被查出的错误将会泛滥开来，并将一切破坏殆尽。”这个十分简单的真理有力地解

释了为什么是美国人而不是苏联人第一个登上月球。

从“阿波罗”计划中获得的最重要的经验和教训无疑是管理革命。虽然这对谁来说也不是秘密，可令人遗憾的是至今这个道理仍然鲜为人知。1969年卸任的美国航空航天局局长韦布(James E. Webb)写过一本有关这方面的著作[3a]，进一步的技术细节可在华盛顿的美国航空航天局总部找到[3b]。

35.1 梦想与先驱

到星球上去遨游的梦想与人类本身一样历史悠久。一俟了解了行星可能是固态的星球时，人类就让这些行星住着各种各样神话中传说的神；公元150年前后，卢西恩(Lucian)就曾叙述过有关人乘航船去月球作第一次旅游的幻想，描写了地球人如何卷入太阳神与月亮神之间的战争的经过。随着世纪的推移，作家们学会了将幻想小说建立在已牢固确立起来的天文学、物理学的事实与理论的基础上。他们知道，伽利略(Galileo)在1610年就曾描写过月球上的山。牛顿在《自然哲学的数学原理》(*Principia*，1687年)一书中发表了牛顿力学第三定律：“作用力与反作用力等值反向且在一条直线上”(Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem)，这是所有火箭推进的不可改变的普遍基本原理。1783年，蒙戈尔菲耶(Montgolfier)的第一个气球上了天。凡尔纳(Jules Verne)的《从地球到月球》(*De la Terre à la Lune*，1865年)一书相当精确地预言了100多年后的“阿波罗”计划中的许多细节，这真是一个了不起的成就。然而，像其他许多预言家一样，凡尔纳显然低估了人类在能够往返于相距80万千米的地球和月球以前所必须解决的技术困难。

859

1900年以前，3位太空飞行的杰出先驱者诞生了，他们是：俄国人齐奥尔科夫斯基(Konstantin Tsiolkovski)、德籍罗马尼亚人奥伯特(Hermann Oberth)及美国人戈达德。齐奥尔科夫斯基证明了空间飞行

的一些基本原理，诸如以多级火箭为动力（第一级火箭的燃料耗尽后，点燃第二级火箭，以此类推）、从液体燃料火箭获得高喷气速度的重要性，以及利用设施为长距离太空旅行制氧的可能性。他到1895年已想到了这些论点。

奥伯特在1923年和1929年出版的两本著作中[4]，发表了关于用集束液体燃料火箭进行空间旅行的大型宇宙飞船的数学和设计原理。1930年8月，他在柏林甚至实现了一支用汽油和液氧（LOX）作推进剂的火箭的静止点火工作，并达到了7千克的推力。德国的一群火箭迷受到他著作的鼓舞，在1927年成立了火箭学会（Rocket Society）。

35.2 首批火箭飞行

火箭——用一种硝石（硝酸钾）、硫黄和木炭的混合物即所谓的有烟火药或黑色火药制成——显然是由中国的军事工程师们在公元1232年第一次使用的。[李约瑟（Joseph Needham）《中国科学技术史》第V卷第I部分有明确的记载。] 在1792年印度反抗英国的战争中，1807年康格里夫（W. Congreve）的火箭燃起的哥本哈根大火中，1814年英国人攻陷华盛顿的战役中，用这些固体的各种混合物作推进剂的军用火箭起了决定性的作用。19世纪，固体燃料火箭也被广泛用于救生（图35.1）和捕鲸。

德国火箭学会成立后不久，由冯·奥佩尔（Fritz von Opel）于1928年建造的固体燃料火箭就被装在赛车上。它在公路和轨道上的速度可达290千米/时。如今，固体燃料火箭被选来用在捆绑式助推器及核弹头导弹上，它要求长时期处于即刻发射的准备状态。例如，“大力神-半人马座运载火箭”（Titan-Centaur）——1975年曾运送“海盗号”（Viking）宇宙飞船去火星探索太空生命，它的发动机用铝粉作燃料、高锰酸铵作氧化剂，用一种合成橡胶黏合剂将这两种化学品

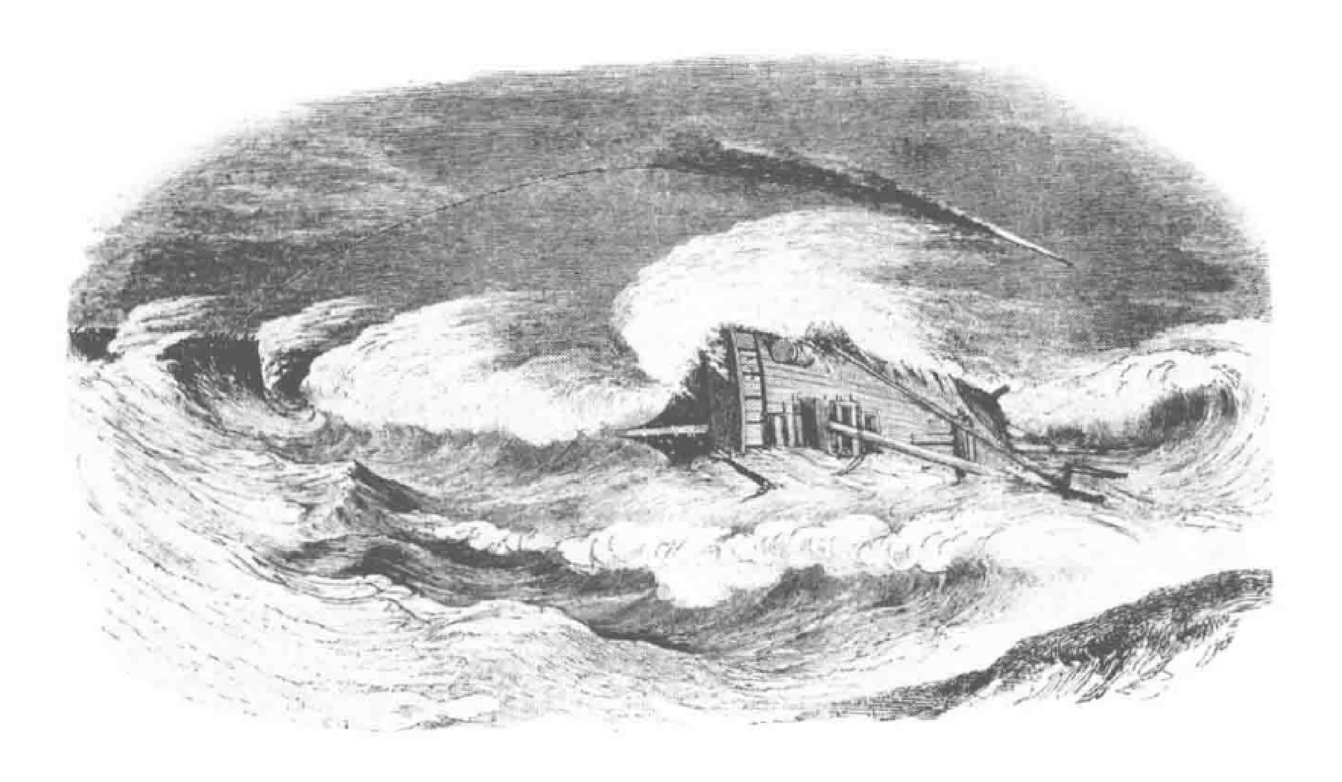


图 35.1 一枚卡特（Carté）火箭（固体燃料）发射后，在遇难船只"玛丽·格雷号"（Mary Grey）的上空划过一条弧线，遇难地点在达勒姆的锡顿卡鲁海面上。1851 年。

掺合在一起。这两个固体燃料助推火箭，每个直径 3 米，长 25.9 米，产生一种合成的推力，推力大小达 1060 万牛顿（1088 吨），在 111 秒内将 640 吨重的飞行器由静止加速到 5000 千米 / 时。

发射一枚火箭，必须要产生一种推进力或叫推力。推力以牛顿、吨或千克来表示。在目前的设计中，推力是由火箭发动机中化学燃料的燃烧产生的，燃料的性能最好用排汽速度来比较，其单位为米 / 秒。火箭的总效率用比冲来定义，其单位为秒；比冲在数值上就是每秒燃烧 1 千克燃料所产生的推力（以千克计）。

齐奥尔科夫斯基、奥伯特和戈达德对火箭推进这个基本理论是十分明白的，同时他们也知道在排汽速度上任何固体燃料都无法与液体燃料相比。例如，黑色火药火箭发动机的比冲大约为 60 秒；A-4 火箭的引擎用的是酒精和液氧，其比冲是 218 秒；土星 5 号运载火箭使用液氢和液氧，比冲达 450 秒。若用排汽速度来比较，计算一下化学燃料的理论排汽速度，那么固体硝化甘油将产生 3300 米 / 秒的排汽

速度；以液氧助燃的汽油和煤油将产生 4500 米 / 秒的排汽速度；以液氧助燃的液氢将产生 5600 米 / 秒的排汽速度。当然，实际上这些理论值都不可能达到。

戈达德是一位机械制造方面的天才，他率先将理论付诸实践并取得了成功。1926 年 3 月 16 日，在马萨诸塞州的伍斯特附近，他的由汽油、液氢推动的火箭（图 35.2）在 2.5 秒内升到了 12.5 米的空中，落到了 56 米以外。这是世界上第一次液体燃料火箭的飞行，它可与 1903 年莱特兄弟在基蒂霍克镇取得的成就相媲美。

862 在随后的 15 年中，戈达德在担任克拉克大学物理学教授的同时，致力于携带气象器材到高空探索的火箭研究，并取得进展（图 35.3 和图 35.4）。这些工作主要是在新墨西哥州中部和东部的罗斯韦尔进行的，三位仪器制造者、一位机械师和一位技术助理——他忠心的妻子戈达德夫人（Esther C. Goddard）——协助他工作。在实验室里，在发动机静止点火试验中，在火箭的实际飞行中，他试验了当时的大多数火箭技术。其财政援助先是来源于史密森学会（1917—1929 年），后经林白（Charles Lindbergh）的介绍，由古根海姆（Guggenheim）家族（1929—1941 年）每年资助 1.5 万美元。

在戈达德去世后，他在罗斯韦尔的试验工作记录[5]全部发表了。作为第一批工程师 - 物理学家之一，他的远见卓识，他的杰出技能，特别是他的坚持不懈，给人以深刻印象。以下是他一生工作的最简短的记录：

思考液氢和液氧可作火箭燃料的问题（1909 年）；第一篇研究论文在《纽约时报》遭人奚落（1920 年 1 月 13 日）；在罗斯韦尔的首次火箭飞行，高度达 610 米（1930 年 12 月 30 日）；发明了自动序贯 863 发射系统（1931 年 9 月 29 日）；第一次使用带有平衡环的陀螺仪在喷出的气体中驱使舵翼来操纵火箭（1932 年 4 月 19 日）；第一次在



图 35.2 戈达德教授和他的第一枚汽油、液氢火箭。小小的火箭置于构架的顶部。他当时认为如果有残余物拖在后面，那么火箭在飞行中会具有较大的稳定性。1926 年。

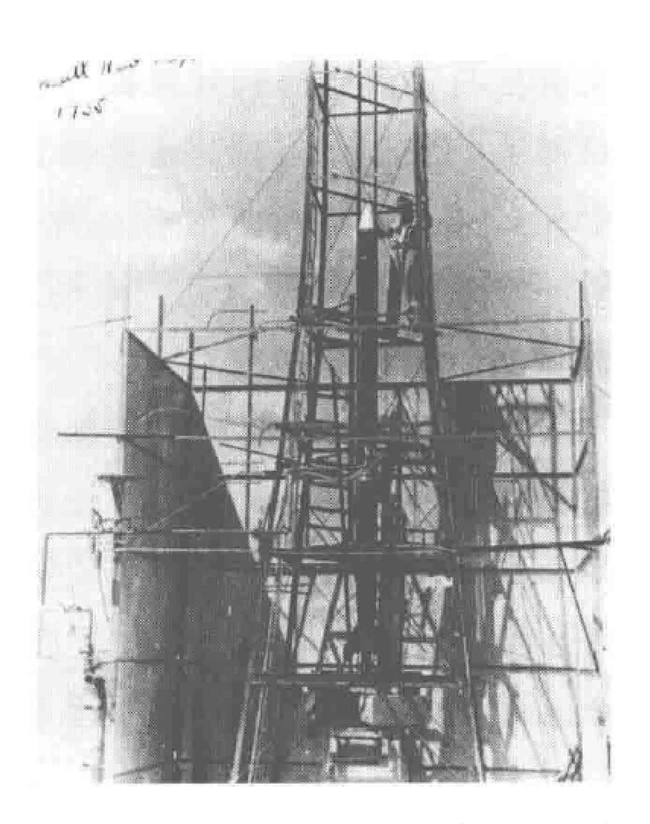


图 35.3 戈达德后来进行的火箭试验。他使用了一个十分复杂的避风发射平台。1935 年。

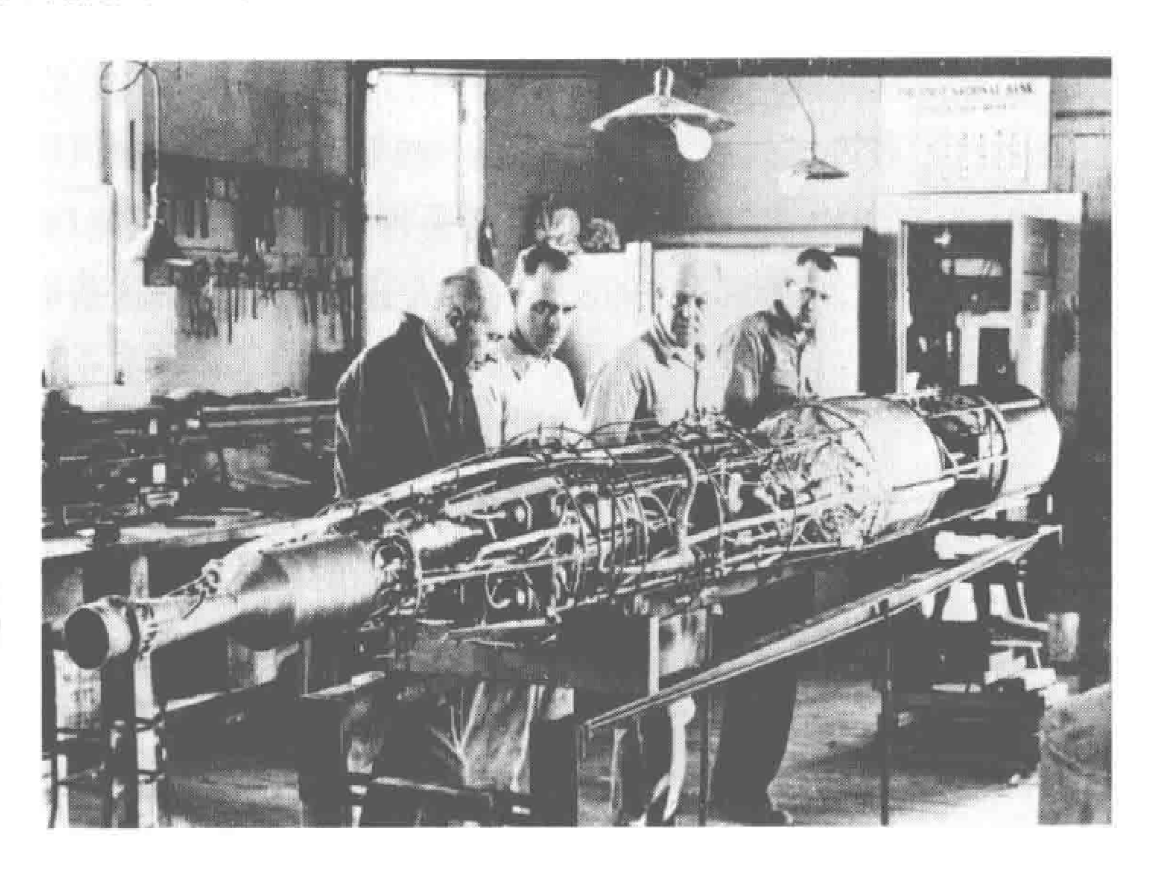


图 35.4 戈达德（左起第一人）和他的三位技师在一起，这是他在美国新墨西哥州的罗斯韦尔实验室获得的唯一的技术帮助。1939 年。

实验室内完成煤油和液氧离心泵的试验（1934 年春）；A 系列火箭获得了 1125 千米 / 时的速度和 2.3 千米的高度（1935 年 2—10 月）；K 系列火箭取得了 135 秒的比冲（1935 年 11 月—1936 年 2 月）；第一个装有平衡环的火箭发动机，由陀螺仪来控制（1937 年 7 月 28 日）。

戈达德不断地改进其复杂的设计。他的最后一批火箭，即 P 系列火箭，长 6.7 米，直径 45 厘米，发射重量 210 千克，上面装有煤油和液氧离心泵，以及一个控制用的压缩氮气管来推动火箭（1938 年 9 月—1941 年 10 月 10 日最后一次试验）。在罗斯韦尔的许多次静止点火和 31 次火箭飞行中，尽管出现了多次小的爆炸事件，但没有一次重大事故发生。

由于 1920 年那家可笑的报纸的讥讽，除了专利外，戈达德几乎没发表什么著作。那么他工作的主要步骤是否为德国火箭专家们——这个领域仅有的另一些认真工作的人们——所知呢？尽管在此问题上进行过许多研究，但仍存在一些疑问；古根海姆（H. F. Guggenheim）[5] 在 1948 年对这一点的回答是肯定的，而杜兰特（F. C. Durant）对此研究了 25 年后在 1975 年的私人通信中否认了这条联系环节的存在。

德国火箭的第一批飞行试验，是由利（Willy Ley）[6] 和里德尔（Klaus Riedel）在 1931 年和 1932 年进行的。在这些试验中，用水与酒精的混合物作燃料，用液氧作助燃剂。在著名的柏林郊区“火箭发射场”（Raketenflugplatz），共进行了 270 次静态试验和 87 次上升试验。德国军方对液体燃料火箭的兴趣可追溯到 1932 年的春天。在那年 11 月，即希特勒（Hitler）上台 3 个月后，冯·布劳恩（von Braun）加入了他们的武器发展分局，并认为“军方的金钱将是使我们的工作建立在一个坚实的财政基础上的唯一希望”[7]。第二年，他完成了 A-1 火

箭静态点火试验（A 即 Aggregat，表示“机组”），推力达到了 150 千克。1934 年 12 月，第 2 个型号 A-2，用酒精和液氧在 16 秒的飞行中上升到 2.4 千米的高度。在那段时期中，冯·布劳恩有 80 名具有各种技能的助手为他工作，他的希望变成了现实：德国军方在 1935 年夏天为火箭研究提供了 1100 万马克的巨资。有如此雄厚的资金供支配，冯·布劳恩和他的小组就能迅速地赶上和超过戈达德的研究成果。位于波罗的海海边佩讷明德的一个新的巨大火箭实验站，成为以冯·布劳恩为技术指导的小组的实验基地（1937 年 4 月）。8 年后（1945 年），有 2 万人在那儿工作，共有总数达 4 亿马克的资金用于火箭的研究与开发。

864

像所有后来的德国火箭一样，A-3 使用酒精和液氧，设计的推力为 1500 千克，并在它的喷气口装有陀螺控制的铝制尾翼，但是 A-3 失败了（1937 年）。下一个系列 A-5 型被证明是成功的，高度达到 12 千米以上，采用石墨尾翼，并应用降落伞回收了已发射的 25 个火箭中的一部分（1938—1939 年）。

随着第二次世界大战的爆发，一支由 3500 名德国军官和一般人员组成的劳动大军被征募去佩讷明德。科学上的难题被分发给德国的各个大学去解决（如综合加速测量仪、泵叶轮、多普勒轨道无线电跟踪器和计算机等的研制）。然而直到 1942 年 10 月 3 日，第一次 A-4 飞行才取得成功，

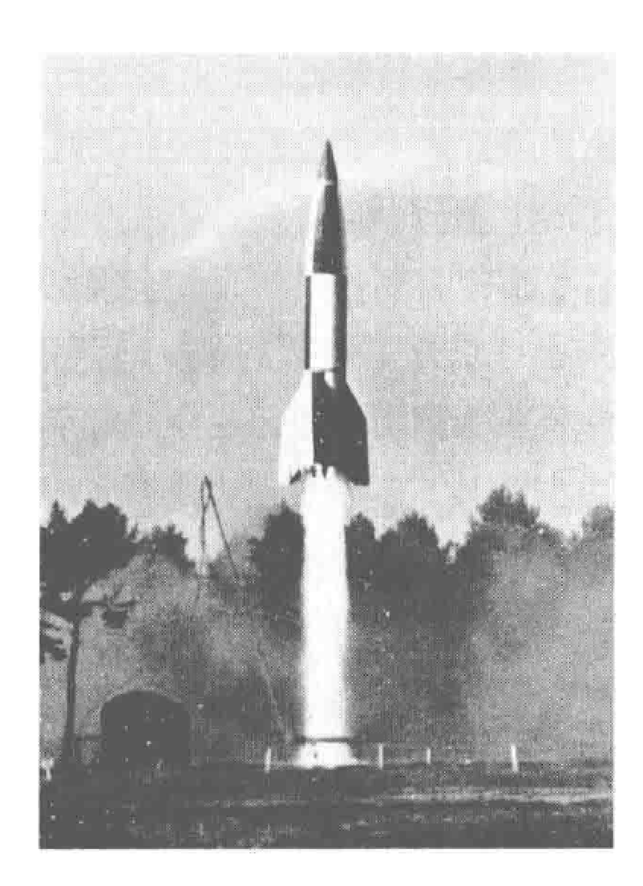


图 35.5　操作人员在易北河口库克斯港为英国陆军试射一枚德国 A-4 即 V-2 火箭。盟军俘获了一大批 A-4 火箭。1945 年。

865

它达到了96千米的高度、190千米的射程，及5280千米/小时的超音速。A-4又被称为V-2型，V表示“复仇武器”(Vergeltungswaffe)，这纯粹是出于宣传目的。它糅合了许多由戈达德发明的先进火箭技术，如由540马力汽轮机驱动和由液氧润滑的离心泵。当时在佩讷明德任指挥官的多恩贝格尔(Walter R. Dornberger)将军，在那次飞行后的庆祝仪式上发表评论说："我们已经证明了火箭发动机对于空间飞行来说是可行的。"[8](有关导航辅助设备见第34章)

然而，在大量生产火箭以前必须做上百次进一步的点火试验，其中有些要做携带弹头的试验。开始以每天10枚A-4型火箭的速度进行生产，后来1944年春天靠集中营的劳工每天生产30枚。这种生产是在哈茨山的米特尔韦尔克地下工厂进行的。总共有518枚A-4型火箭打到了伦敦，第一次袭击是在1944年9月7日；在南英格兰有2511名男人、妇女和儿童被炸死，5870人受重伤。进而又发射了642枚A-4型火箭(图35.5)。

35.3 载人航天

多恩贝格尔的预言确实很正确，尽管到1961年4月12日加加林乘坐“东方1号”(Vostok 1)飞船在绕地球的单一轨道上飞行使空间旅行成为现实为止，这中间隔了整整20年。在此不可能详述这20年内空间技术历史的详尽细节，因为其中大多数内容已超出了本书所确定的范围。埃姆(Eugene M. Emme)[9]和赖特(Monte D. Wright)[12]记述了当代美国空间飞行的大事。有兴趣的学者都可无偿享用美国航天技术的全部历史材料；然而有关俄国的航天技术，人们只能在极少的著作中有机会窥见，如在奥伯格(J. E. Oberg)、吉本斯(R. F. Gibbons)和肯登(A. Kendon)[1]的著作中。

火箭发动机、燃料泵、涡轮、阀门、管道系统、燃料舱、陀螺仪、加速计、导航和控制系统、计算机(用于火箭和飞船内部及地

面）均必须按照一定的规范进行设计、试验和制造，这些规范的可靠性标准之高迄今都难以想象。对“阿波罗”火箭和飞船的1200万个部件而言，可靠性要求达到并已达到99.9999%。机械和电子设备、压力计和拉力计、传感器、信号灯及记录仪等都必须要研制出来，而且通常要使之小型化，重量要最轻。在空间技术中应用新材料加工工艺十分广泛，如爆炸成型工艺和化学蚀刻工艺，两者都需要标准材料和新金属材料——像钨、钼、铍、钛等。新的火箭燃料，尤其是液氢，必须成吨地生产。必须建立世界范围的电信网，其中有些设在太空中，以便一旦美国宇航员踏上月球时能与其母星——地球保持联系。

866

如果人们要在太空中安全并舒适地旅行许多天或许多周，除了考虑单纯的空间工程技术外，对于一系列生理或心理上产生的全新问题也必须预先估计到，并加以探索解决。如保持温度以抵御太空中的寒冷和返回大气层时的灼热，包括宇宙服的设计；预防与陨石相撞、宇宙射线和来自太阳的紫外线辐射；食物与饮料的供给；宇宙飞船内部可以吸入的空气；可靠的电信；计算机化的导航设备；电力的生产及储存；最后还有人的排泄物的处理等，所有这些问题都在人们踏上月球前解决了，而且大部分解决方案是很有智慧的。

在“东方1号”（1961年）和“阿波罗11号”人类首次登上月球（1969年）之间，有20次美国的载人航天飞行，如“水星”“双子座”及“阿波罗”系列，逐步地解决了工程与生理上的问题。同一时期，俄国人也进行了一些航天飞行，如“东方号”“上升号”和“联盟号”系列，但这些飞行仍然只在地球轨道，远地点是492千米。“阿波罗-联盟号”绕地球轨道的对接飞行在1975年7月进行；一种新颖的对接装置——指令对接舱，是唯一的技术进展。

“阿波罗”计划中，有许多工程上的伟大成就。月球车（LRV）是其中之一，第一次使用是在“阿波罗15号”上（1971年7月31

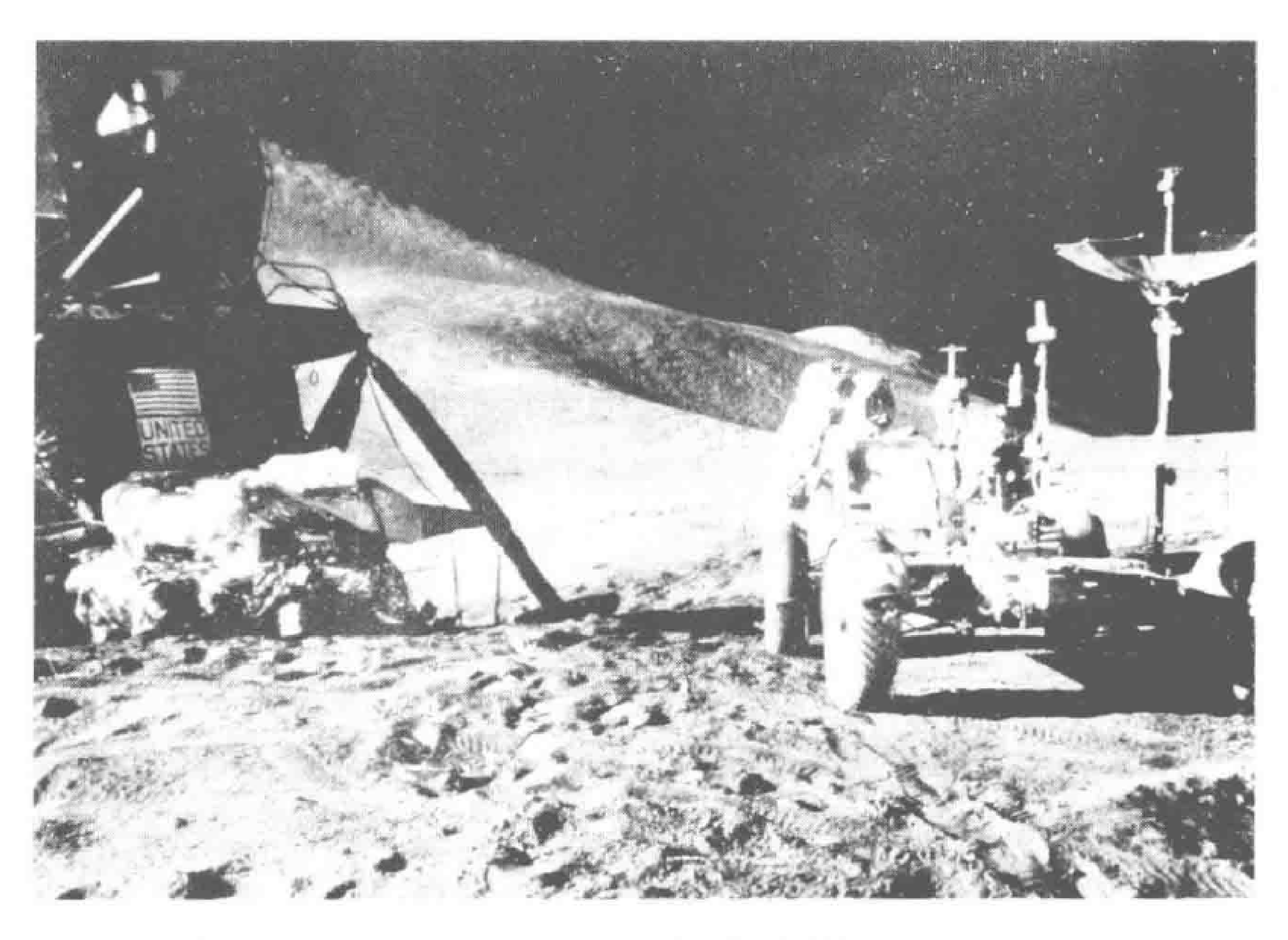


图 35.6 “阿波罗 15 号”在靠近月球亚平宁山脉底部处。图中左边是登月舱，右边是巡月车，均在海德利基地。1971 年。

日)(图 35.6)。从操作的观点来看，曾于 1970 年 4 月 13 日部分发生爆炸的“阿波罗 13 号”宇宙飞船的安全恢复是最引人瞩目的。100 吨重的“天空实验室”绕地球轨道飞行了 1.12 亿千米，绕了 2476 圈，它的第三批宇航员在太空中待了 84 天，直到 1974 年 2 月 8 日才返回地面，这个空前的纪录只保持了 4 年。俄国载有两名宇航员的重 19 吨的“礼炮 6 号”(Salyut 6) 在 1978 年 3 月打破了这个纪录。

35.4 无人航天飞行器

至 1977 年底为止，在人类发射上天的 2000 个无人航天飞行器中，约 1/3 的飞行器用于纯科学、天文学、行星探索、生命科学及月面研究；1/3 用于地球资源、气象资料、电信和导航的应用卫星；另外 1/3 用于军事侦察——照相及电视侦察卫星。

从 1957 年“卫星Ⅰ号”(Sputnik I)发出单调的“比卜 - 比卜”的无线电信号(图 35.7)，到 1975 年发展为数以万计的绕地球的电信信道，这些通信的中继站就是运行在赤道上空 3.59 万千米处的同步轨道卫星［第一个是“晨鸟”(Early Bird)，发射于 1965 年 4 月 16 日］。美、苏的行星探测器经常在别的星球上降落或软着陆［“月球 2 号”(Lunar 2) 1959 年 9 月 12 日第一个在月球上降落］，并进行摄影［“月

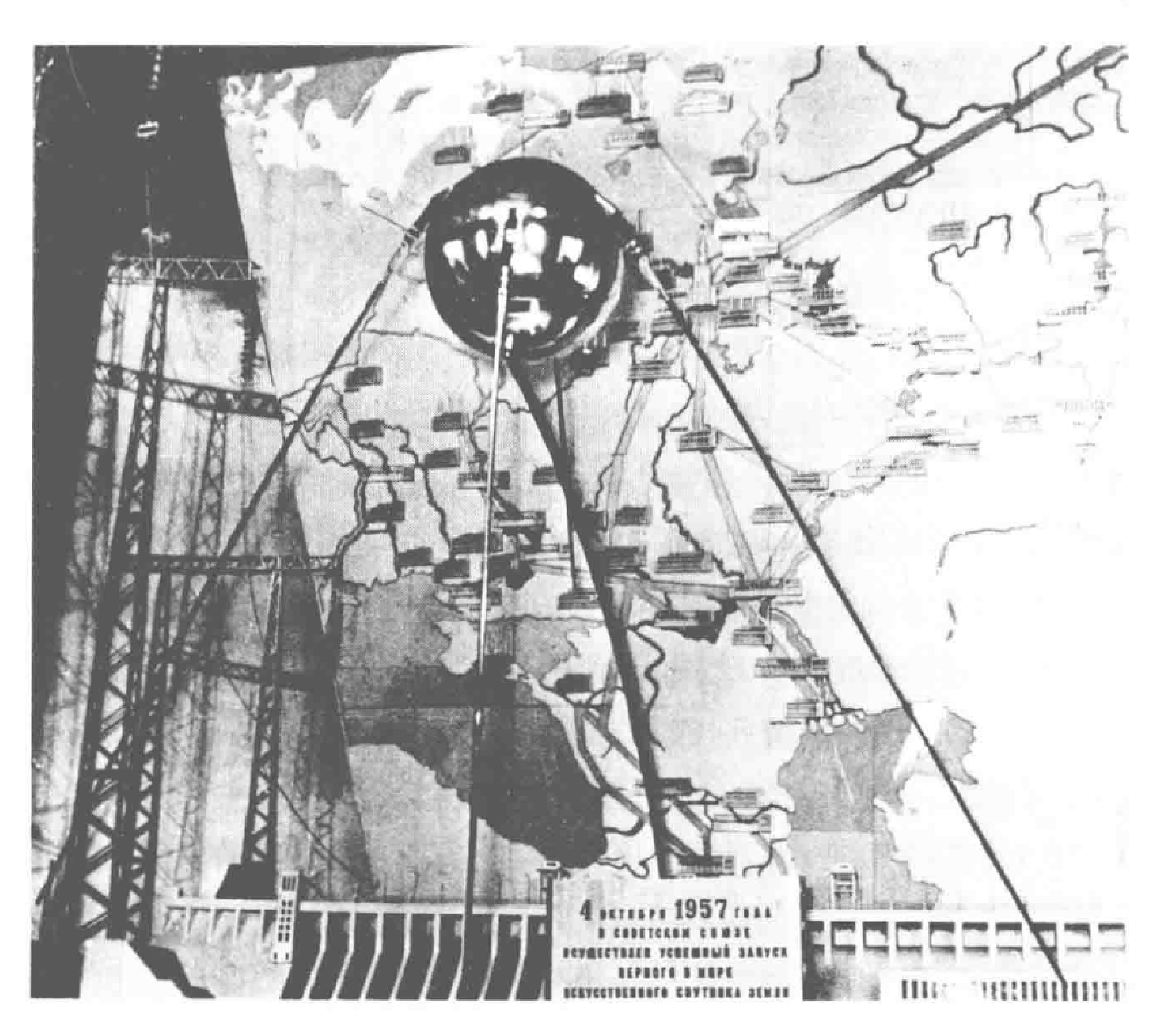


图 35.7　1957 年 10 月 4 日，苏联发射了第一颗人造地球卫星，显示出他们先进的火箭技术，令全世界震惊。这颗卫星发射的无线电波引起了人们的恐惧与羡慕，促使美国对科学进行全面的重新评价，导致了美国航空航天局的建立。在苏联发射第一颗人造地球卫星 4 年后，肯尼迪总统下令将一名美国宇航员送上月球。这里看到的是在一次俄国展览会上展出的“卫星Ⅰ号”复制品，它重 84 千克，直径 60 厘米，运行轨道为椭圆形，每 90 分钟绕地球一周，远地点为 896 千米，近地点为 244 千米。卫星上装有的两台无线电发射机同时协调工作，该卫星于 1958 年 1 月 4 日坠毁。

868

图 35.8 一位艺术家眼中的“阿波罗 15 号”指令舱和服务舱，正在太空运行。左边的宇航员沃登（Al Worden）正在收集胶卷盒，而欧文（James Irwin）正在向他放操纵缆。这个场景是在离地球 320 000 万千米处。1971 年。



图 35.9 当“阿波罗 17 号”的宇航员们在月球的陶拉斯 - 利特罗（Taurus-Littrow）地区行走时，一个时代结束了。1972 年。在最后一位宇航员返回地球后的许多年里，他们及以前的“阿波罗号”的宇航员们留在月球上的科学器械还一直继续向地球发回工作结果的记录。

球 3 号”(Lunar 3) 在 1959 年 10 月 4 日提供了第一批月球背面的照片］。更多的是采用先进技术的探测器把机械人送到行星上［1970 年 9 月 12 日发射的“月球 16 号”(Lunar 16)］；或去考察小行星带和木星；或离开太阳系［1972 年 3 月 2 日发射的“先锋 10 号”(Pioneer

869

10)］；以及去探索火星上的生命［1975 年 8 月发射的“海盗号”］。

除苏联和美国外，法国(1965 年 11 月 26 日)、日本(1970 年 2 月 11 日)、中国(1970 年 4 月 24 日)和英国(1971 年 10 月 28 日)也发射了他们自己的卫星，大多是为了政治声誉。另外，苏联与美国还把发射器供各自的友好国家使用，让他们发射自己国家的卫星，甚至做一些简单的实验。现在，可以期望美国的航天飞机(一种可重复使用的用火箭推动的空间飞行器，1980 年投入使用)将以其低得多的成本取代以前几乎所有的美国发射装置，可将 30 吨的荷载(载人或无人的)送到绕地球的低轨道上去。

35.5 前景

1975年7月为“阿波罗-联盟”联合飞船进行的第32次即最后一次“土星号”火箭发射，使“阿波罗”时代归于结束。在1980年美国航天飞机投入使用以前，虽然苏联宇航员使用新的设备完善的“联盟号”可能会继续其绕地球轨道的飞行，或许还可能试图进行月球轨道飞行，但不会有美国宇航员出现在宇宙空间。

从“阿波罗”时代及美国其他航天计划中获得的大量有益的技术资料已载入多达75万份科技报告中，这些报告均可在华盛顿美国航空航天局总部得到。但其他的无形效应现已变得明显起来，有些是人们欢迎的，有些是人们不欢迎的。博伊尔（C. P. Boyle）在1973年写了一本非常值得一读的评论集，记载了90个实例[10]。这些实例涉及的范围从航天技术对艺术与诗歌的推动，到为了监视限制武器条约的实施而对侦察卫星的使用。

更不可捉摸的是这样一种假设，即一种人类精神的新的复兴正在崛起，犹如哥伦布（Columbus）和麦哲伦（Magellan）的新地理学、伽利略和哥白尼（Copernicus）的新天文学改变了欧洲的思想一样。埃姆[9]，尤其是克拉克（Arthur C. Clarke）发展了这一挑战性的想法。毫无疑问，当技术家们的技艺为更大胆的航天探索所需要时，他们肯定会成功的。随着“阿波罗”时代的结束，火箭发动机所使用的化学燃料达到了它们的极限。目前在美国，许多设计具有电力或原子能推进系统的实验性工作已在进行，杜兰特已对此进行过评论[11]。

航天技术能否达到其最终的目标，将人类从这颗星球带出去和另一个太阳系的文明居民接触呢？至少在目前看来是不太可能的，因为30万千米/秒的光速及人类生命的短暂，对于在广袤无垠的宇宙间进行探索，筑起了一道天然的时空屏障。

相关文献

[1] Oberg, James E. The hidden history of the *Soyuz* project.
Kendon, Anthony. An analysis of the masses of Russian spacecraft.
Gibbons, Ralph F. Soviet military space tests. All in *Spaceflight*, **17**, Nos. 8–9. 1975.

[2] Davis, Nuel Pharr. *Lawrence and Oppenheimer.* Simon Schuster, New York. 1968.

[3] (a) Webb, James E. *Space Age management–the large-scale approach*. McGraw-Hill, New York. 1968.
(b) Seamans, Robert C., and Ordway, Frederick I. The *Apollo* tradition—an object lesson for the management of large-scale technological endeavors. *Interdisciplinary Science Reviews*, **2**, 270. 1977.

[4] Oberth, Hermann. *Die Rakete zu den Planetenräumen* and *Wege zur Raumschiffahrt*. R. Oldenbourg, Munich. 1923 and 1929, respectively.

[5] Goddard, Robert H. *Rocket development. Liquid-fuel rocket research 1924–1941.* (Edited by E. C. Goddard and G. E. Pendray.) Prentice-Hall, New York. 1948.
See also : *The Papers of R. H. Goddard.* (Edited by E. C. Goddard) . McGraw-Hill (1970) . and : 'The Robert H. Goddard Collection' at the National Air and Space Museum, Smithsonian Institution, Washington D. C. ; representative of his life' s work, correspondence, reports, photographs, and motion picture films.

[6] Ley, Willy, *Rockets, Missiles and Space Travel.* Chapman and Hall, London. 1951.

[7] Braun, Wernher von. Reminiscences of German Rocketry. *Journal of the British Interplanetary Society*, May 1956.

[8] Dornberger, Walter R. *A Faultless Launching–The First V-2.* Bechtle Verlag, Esslingen am Neckar. 1952.

[9] Emme, Eugene M. Space and the Historian. *Spaceflight*, **15**, No. 11, 1973.

[10] Boyle, Charles P. *Space among us. Some effects of space research on socity.* Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland. 1973.

[11] Durant Ⅲ , Frederick C. Rockets and missile systems and Space exploration, *Encyclopaedia Britannica* (15th edn.) . 1974.

[12] Wright, Monte D. *Documents in the History of NASA*. HHR 43. NASA History Office. (Available on request from NASA, Washington.) . 1975.

参考书目

Clarke, Arthur C. *The coming of the Space Age.* Meredith Press, New York. 1967.
An anthology of 36 reprints of original articles on all aspects of astronautics, including [7] and [8] above.

Ley, Willy. *Rockets, Missiles and Space Travel.* Chapman and Hall, London. 1951.
Undoubtedly the most complete bibliography, listing English, American, German, French, Italian, Russian, Spanish, and Dutch books, periodicals, and Government publications, including historical works of the eighteenth and nineteenth centuries.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) . By 1973 the American Space Agency had published about 750 000 scientific reports, most of them non-secret. Enquiries about them should be addressed to : The Director, Public Information Division, NASA Headquarters, Washington, D. C. 20546, U. S. A. See also [12] for historical data.

第36章 土木工程

P. S. A. 贝里奇（P. S. A. BERRIDGE）

第1篇 道路、桥梁和隧道

36.1 道路

20世纪的公路发展，是一部由于运输工具与道路的矛盾而引起变革的历史。进入了文明社会的地方，就有了布满尘土的大道和石块铺砌的城镇街道。这些道路只适合于沉重缓慢的马车通行，而要满足汽车、自行车和电车的要求，就必须提供合适的不同类型的道路。

20世纪初，美国只有8000辆汽车。在法国里维埃拉地区的大峭壁公路（Grande Corniche）上，一天能看到500辆汽车，这与可看到马车的数量相等。在1907年由马丁公司（Le Martin）发起的从北京到巴黎的第一次长距离汽车拉力赛中，冠军驾驶一辆意大利汽车，用了60天到达终点；亚军驾驶一辆法国汽车，用了80天。

1901年在英国，汽车还是罕见的珍品。道路是为马车修的：在乡村和郊区，是碾压的碎石路，未铺柏油，尘土飞扬；在工业城镇，则是小方石铺砌的道路；在高级住宅区里，通常是用硬木块铺砌道路。马路清洁工维持交叉路口清洁，以便行人通行。牲口饮水槽和粪便箱是街道上的常见设备；洒水车“镇压”飞扬的尘土。当公馆的主人生病时，便在外面的车行道上撒满稻草，用以减轻马蹄声和铁轮滚动声。伦敦的大街上还保留着马拉轨道车。除了蒸汽压路机和少见的柏油锅

炉，几乎没有什么机械设备。打石子的工人手中拿着锤子，蹲坐在路边，这是乡村公路上常见的景象。每一家大门外边都必须备有靴鞋刮泥板。

1909年，英国第一次认真考虑公路适应汽车行驶的问题。英国议会设立了道路委员会（Road Board），由克朗普顿（R. E. Crompton）上校担任该委员会的顾问工程师，他曾于1872年在印度

872

创办国营蒸汽列车，行驶于主干线上。由道路委员会委办的工程，其费用都来自税收：汽油进口税每加仑3便士，每年的摩托车税为1英镑，汽车税则根据车的马力大小，税款从3畿尼到8畿尼（3.15英镑到8.40英镑）不等。从1909年起，机动车的数量加速增长。1911年，在肯特一条干线上的某一点，一昼夜有772辆车通过，其中汽车占41%；1912年，这个百分比增加到了62%；1922年，则仅有5%的车辆为马车；1954年，在该处通过的1.5268万辆车全部都是机动车。

1919年，交通运输部取代了道路委员会。两年后，为了缓和战后经济萧条引起的失业状况，英国开始大规模地进行原有公路的加宽和改直工程，并且新修了大量道路支线。英格兰1922年第一次进行的交通普查表明，埃塞克斯利用率最高的公路24小时通过的货运量达1.454万吨；在伦敦，海德公园地区一昼夜通过的货运量达11.5万吨。1929年，第一次在十字路口装上了电控彩色交通信号灯。一年后，《道路交通法》限制了车辆在拥挤街道上的停留时间，并开始实施单向行车交通规则。1931年的一个重大举措就是在主要道路上去除可对骑车人造成灾难性危险的电车轨道。1934年，另一部《道路交通法》规定对机动车驾驶员实行考核，并把房屋密集区的车速限制为30英里/时（48千米/时）。约克一位名叫肖（Percy Shaw）的人发明了“猫眼”—— 一种镶嵌在橡皮上的反光器，它能在大雾天和夜里把行车道清楚地标示出来。1935年，迟迟出台的《限制沿干线发展建筑物案例》反映了控制沿交通干线两侧扩展建筑物的重要性。1949

年,《特殊道路条例》允许修建专供汽车使用的公路，为英国高速公路的发展开了绿灯。

其他国家高速公路的发展要早一些。阿武斯(Avus)高速公路对参加1921年在德国柏林举行的战后第一次汽车展览会的汽车驾驶员具有莫大的吸引力。5年后，为了汽车的特殊需要，奥岑(Robert Otzen)教授不是采取改修原有公路的方案，而是计划用一条高速公路把法兰克福同巴塞尔连接起来。1929年，在杜塞尔多夫和波恩之间铺设的一条高速公路使汽车拥挤现象开始缓和，在此之前，这里的一条双车道公路上一小时内曾拥挤过1800辆汽车。20世纪30年代，德国有4000千米长的高速公路通车。1950年，除了爱尔兰、西班牙、苏联和保加利亚以外，欧洲所有其他国家签订了一项协议，即将总长达4.2万千米的国际公路网联合成为一个整体。4年后，意大利的旅游公司、汽车制造商、轮胎制造商和土木建筑工程公司集资修建了一条从米兰到那不勒斯长达725千米的高速公路。

1958年，世界上汽车数量为：美国8200万辆；欧洲1600万辆；澳大利亚220万辆；亚洲140万辆；非洲110万辆。在印度，经过铺面的公路总长达25.8万千米，未经铺面的公路达48万千米。在中国，有一个工厂年产4万辆民用汽车，政府计划以每月100千米左右的速度修筑4000千米的汽车公路。在英国，每新建10千米的高速公路就要侵占60公顷宝贵的土地。

铺筑方法 现代道路涵盖范围包括从清除了杂草和土壤并由车辆压实的简单泥土路，到繁忙的高速公路。这种高速公路的结构性路基把车辆的重量分散到由排干水的、压实的土壤筑成的结实地基上。路基夹在地层(即已处理好的地基顶面)与路面之间，有的在下面还有一个隔离层。路基既可能是“柔性”沥青碎石，也可能是“刚性”混凝土。无论是什么样的铺筑形式，基本原理都如同麦克亚当(John Loudon McAdam)所说：“真正承受车辆重量的是天然土层，当天然土

层保持干燥状态时，它能承受任何重量而不沉陷。”只要天气好，土质公路能经受得住不超过50辆轻型汽车的日交通量。一条全天候的双向双车道高速公路，当天气晴朗时，单向每小时能通行1800辆汽车，作用在一个轮子上的重量将近7吨。

20世纪大多数公路的路面都采用机械方法铺设。根据土质条件及所采用的施工方法，路面的厚度变化范围为600毫米到200毫米，甚至更薄。可通过压实大约500毫米厚的天然土层使地基稳固，并在上面铺设一层干燥的石屑或砂子；对于“柔性”路面，则再铺上一层碎石路基，用机器铺散开并整平，然后通过碾压压实。美国1937年首创的巴伯-格林（Barber-Greene）压路机，是英国1951年碎石路面施工最常用的机器。自20世纪60年代中期以来，高质量公路的路基由沥青碾压而成，或者由厚厚涂覆层的碎石——柏油或沥青碎石——构成，即预先把分选好的填料与柏油或沥青拌好，然后铺到路床上去。黏结料使路基具有一定程度的柔性，因而路面可以产生轻度的调整而不致有开裂的危险。在机械铺设的所有沥青道路混合料中，热拌碾压沥青混合料最稳定、最耐久。路面是沥青磨耗层，即把柏油和砂子混合的砂浆加在粗填料之上。由于压入了涂覆有沥青的石屑，路面变得更加抗滑。

875

大吊桥的路面不用碾压沥青，而用预先制成的沥青砂胶，靠人工用泥刀抹平。在福斯公路桥（1964年）中部跨距的车行道上，把一层厚度为38毫米的沥青砂胶直接铺设在经过喷砂处理（以保证黏着性能）的钢板上。在塞文桥（Severn Bridge）（1966年）上，为了改善黏着性能，在钢板与沥青砂胶之间介入了一薄层热橡胶沥青，顶面上有一层橡胶溶液作为结合层。

所谓的刚性铺面，即其路基为混凝土。混凝土的作用相当于一大块石板，能把车辆的荷载分散到地基上去，它比“柔性”碎石路所能分散的面积大得多。混凝土路基，无论是普通混凝土还是钢筋混凝

土，其缺点在于混凝土需要较长时间才能硬化，而且为了抵消混凝土凝结时产生的开裂，需要设置许多施工缝，这很麻烦。直到 1935 年，英国的混凝土道路仍然为手工施工，其路基必须等 28 天才允许通车。后来，养护时间逐渐缩短了。采用波特兰水泥，养护时间缩短到 13 天；采用快硬水泥，养护时间缩短到 7 天。

汽车公路和高速公路 1907 年，在英国雷丁附近发生了一起为反对道路尘土飞扬而举行的示威游行，加快了路面改良的速度。措施是在碎石路面上用人工涂上柏油；后来，从法国传来了用压缩空气喷涂热柏油的方法。

英国最早的一条汽车公路是第一次世界大战期间设计的，它就是长 9 千米的温切斯特支路。起初设计的路面宽为 9 米，1935 年改为双向各 6 米宽车行道。而在 1940 年 2 月 1 日通车时，它有中间隔离带，最急的弯道半径为 244 米，路面以上 1.14 米处的最小垂直视距为 121 米。刚性的路基为钢筋混凝土板，厚 203 毫米，宽 3 米，长 27 米，下面有 254 毫米厚的砾石垫层，有防水层将两者隔开。随后，路面上铺设的沥青磨耗层把原来的 9 毫米宽的施工缝掩盖了。英国以温切斯特支路为第一条立体交叉公路而自豪。1954 年，该公路每天通车 7000 辆。

876

111 千米长的伦敦 - 伯明翰高速公路于 1959 年 11 月 2 日正式通车。它是自罗马占领英国以来最大的道路工程，在 19 个月内建成。除短距离的普雷斯顿支路外，它就是英国的第一条高速公路。它具有双向三车道，每天每一方向能通车 6 万辆。该公路的颗粒状垫层厚 152 毫米，上铺一层 355 毫米厚的厂拌水泥加固的砾石层，表面是两层 100 毫米厚的热压沥青。施工是高度机械化的，使用 5000 个劳动力，配有 72 台铲运机和 150 台挖土机。该工程还包括种植灌木树篱 100 万株，架设总长 306 千米的栅栏。

此后英国继续建造了一些高速公路。到 1966 年 11 月为止，共有

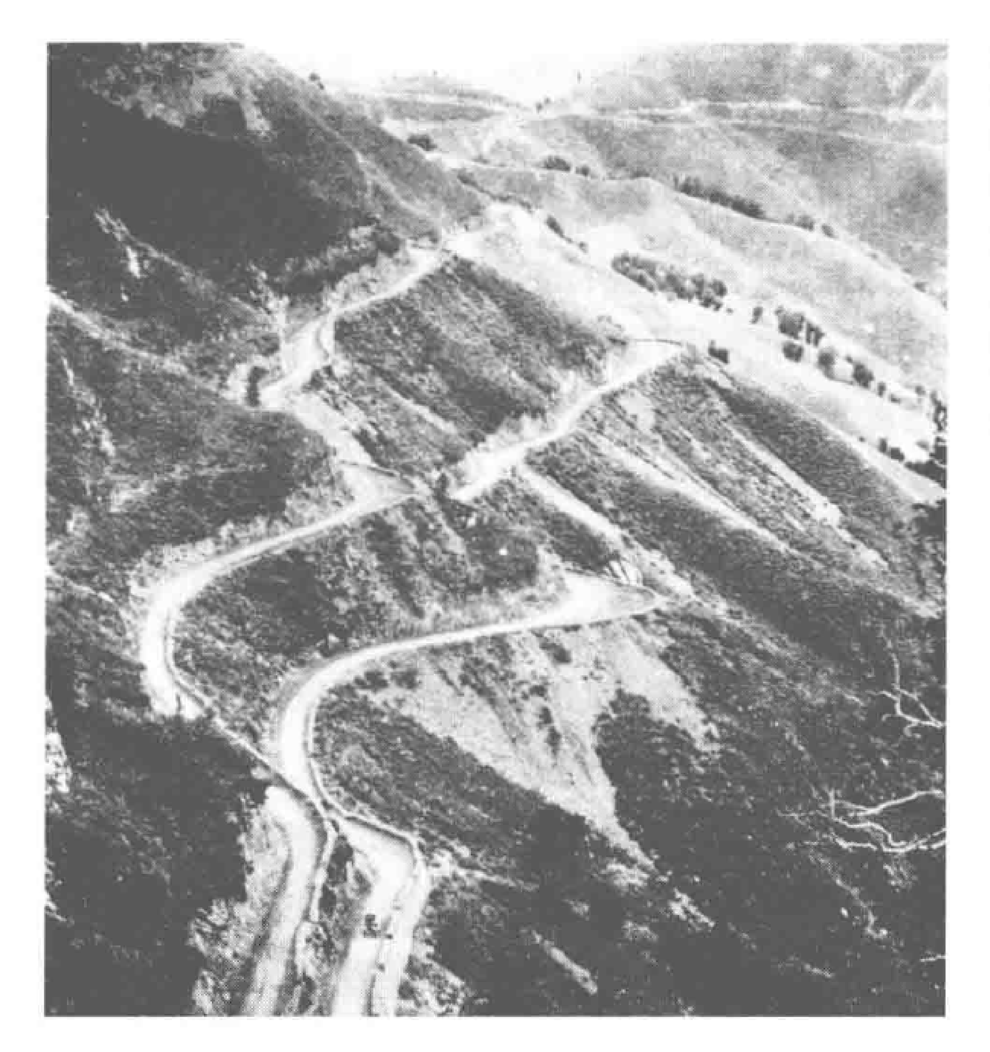


图 36.1（a） 巴里赫大车道（The Banihal Cart Road）从海拔 2740 米高处的隧道蜿蜒向下进入克什米尔谷地。这一早期的汽车公路长 308 千米，从查谟至斯利那加，越过喜马拉雅山的比尔本贾尔岭，于 1922 年通车。



图 36.1（b） 巴里赫大车道上的重型建筑物：一个防护小规模雪崩的隧道。

700千米的高速公路在使用，225千米尚在建造中。乡村高速公路的最高速度规定为70英里/时(112千米/时)，城市则为50英里/时(80千米/时)。

36.2 桥梁

原理和实践 自1900年以来，桥梁工程发生了许多重大的变化。两次世界大战对结构老化现象的忽视，再加上劳动力价格的增长超过了钢材和水泥价格的上涨，使得人们不得不对桥梁承载力的认识更加深入，并通过用电弧焊接代替铆接、采用更好的螺栓紧固器，以及对混凝土的使用进行了大幅度改进，促使了更经济的钢结构的出现。粗笨的铆接桁架被造型匀称的焊接结构、抗扭性能优越的箱形梁以及斜拉桥和悬索桥的流线型桥面所取代。经过高效振捣和预应力技术而使质量得到大大改善的防裂混凝土取代了易开裂的钢筋混凝土。技术的进步延长了吊桥的跨度，使3.25千米跨度的设想得以实现。尽管如此，20世纪的历史仍然记录下众多的桥梁失事事例，这些桥梁的失事无一例外都是由于人类的不规范行为而造成的。

1901年，“工程标准委员会”(Engineering Standards Committee)在英国成立，其目的是要使由不同制造商生产出来的合金钢质量相互关联，并使市场上数百种不同形状和尺寸的型钢系列化，由该委员会产生了“英国标准协会”(British Standards Institution)。在早期，建造桥梁总是取安全系数为4；换句话说，认为已建成桥梁所承受的无数次重复荷载只有达到设计荷载的4倍，桥梁结构才会遭受永久破坏。人们知道，计算是不成熟的。这是因为数以千计的陈旧结构承受了数倍于设计人员所允许的荷载，却没有呈现出严重损坏的迹象。1923年，英国成立了一个桥梁应力委员会做深入调查，特别是要更精确地确定承载能力。在许多国家工程师的协作下，他们研究了由于刚性接点所在的框架某些构件的弯曲而引起的变形应力、由于主梁与桥板之

877

间的相互作用而引起的荷载分配效应、筑路碎石的厚度和种类的不同对荷载分布的影响，以及冲击效应引起的应力增值，等等。他们的报告于1928年发表。一年以后，所谓的安全系数就因增加允许应力12.5%而减少了。因为这一决定既适应于新桥梁，也同样适用于已建桥梁，所以成千个锻铁及低碳钢陈旧结构的承载能力在大笔一挥之下突然增加了。铆接桥梁就有这样的耐受能力，从未听说铆接桥梁会因金属疲劳而破坏。铆钉孔能抑制由于脆性断裂引起的裂纹的进一步扩展。尽管铆钉孔容易锈蚀从而导致致命的腐蚀疲劳（完全不同于金属疲劳，不能把两者混淆），但这一过程较为缓慢。铆接桥从不会突然损坏，对于即将来临的灾难，总能发出足够多的警告。焊接桥就不一样了，因为它没有塑性屈服来缓解高度集中的应力。第二次世界大战期间自由轮焊接船壳的开裂就属于这种情况。钢被电弧加热到1500摄氏度会变脆，在槽口附近便可能有脆裂的危险。它起始于一条裂缝，然后以惊人的速度迅速扩展。为了避免这种灾难的发生，避免由于金属疲劳而发生破坏，"英国标准委员会"于1962年发布了一则令人多少感到惊讶的建议：如同算命者仔细观察玻璃球一样，桥梁设计人员要紧盯着未来，猜测在桥建成后的120年中会承受多少次不同类型的荷载，这一切必须在选择某一钢制构件所允许承受的最大荷载前进行。桥梁工程的确是一门艺术，桥的承载力并不是由数学计算的精确性来决定的！

878

自从1841年在格拉斯哥附近第一次用锻铁梁铆接建成一座公路桥以来，焊接钢桥的出现是最重要的事件。由铆接转变为焊接起始于20世纪20年代，但进展缓慢；其他国家到了20世纪70年代某些新建桥梁仍为铆接。在英国，焊接结构在经济上的优越性受到重视，因为它能节省大量资金。在轧钢厂和堆料场不再要求备有数百种不同形状和尺寸的槽钢、角钢、工字钢等；在绘图板上节省了大量的时间，因为没有计算铆孔间距的烦琐工作，不需要画细部图；不必一式4份

地抄写铆钉清单，不必在样板上显示铆钉位置及钉孔尺寸。在加工车间，不需要标出钉孔位置，不必钻孔；不必在钢结构的不同部件上匹配钉孔，不必扩孔；不需要临时性的装螺栓和卸螺栓；不必区分铆钉的大小，不用给铆钉加热，也不是必须打铆钉；如此这般的工序简化还可以列举许多。除此以外，铆接工种很快便成为一种濒于消亡的职业；1948 年在克莱德赛德（Clydeside），铆接工学徒人数屈指可数。但是，阻碍把铆接转变为焊接的因素，既有承包商的反对，因为这样将使他们价值不菲的铆接工厂报废掉，而且学会如何消除在焊接装配过程中由于操作程序失误引起的变形，也是个麻烦问题；还有设计人员的守旧思想，他们对于一个设计正确的焊接桥在形状上与铆接桥不相似这一点接受相当慢，后者拥有大量各式各样的型材和部件，都配置得便于铆接操作。

作为焊接的补充，高强摩擦螺栓于 1948 年最先用于英国铁路桥梁。在难以进行高质量焊接的现场，这种紧固件有很大的价值。螺栓杆不是机械加工的，高强摩擦螺栓用于直径比其大出 3 毫米的钉孔。螺栓用扭矩倍增扳手紧固，使握紧张力达到预定值，这可以从螺栓下垫片的小突起物被压平而看出。高强摩擦螺栓像老虎钳一样把接合面紧紧夹住，它不会因振动而有所松动。与铆钉不一样，高强摩擦螺栓适合用在螺栓杆受直接拉伸荷载作用的地方。

879

焊接桥梁不仅减少了车间和施工现场的加工费用，而且结构自重也显著减轻。1930 年建成的跨径 30 米、横跨罗讷河的一座公路桥，焊接所需钢材比铆接节省了 25%。

20 世纪第三个重大发展是预应力混凝土的出现，据说这是由法国人弗雷西内（Eugene Freyssinet）最先提出来的。通过施加预应力，使梁中的混凝土受到压力作用，其大小可使梁在荷载作用下挠曲时，梁底部的混凝土表面不开裂（当然，钢筋混凝土梁的底部是受拉的）。混凝土中的预压力由高强预应力钢筋来承担。如果在预制厂先使钢筋

束受拉并用锚具固定，然后在预拉钢筋束周围浇混凝土并振捣，用这种方法生产出来的梁叫先张法预应力梁。当混凝土经养护硬化后，放松锚具，钢筋将力传递给混凝土，从而使混凝土受压。因此，在先张法梁中，从钢筋到混凝土的力的传递只取决于钢筋和混凝土之间的结合。还有另一种施加预应力的方法，即用千斤顶顶住预制混凝土件的两端以张拉钢筋束，这种方法叫作后张法。借助于这两种方法得到的预应力混凝土，是自从1808年多兹(Ralph Dodds)提出用锻铁条加强混凝土“以提高混凝土的拉伸强度”(第V卷，边码512)以来最大的进步。预应力混凝土消除了表面裂纹和由于内部钢筋锈蚀引起的很难看的表面剥落(钢筋锈蚀毁坏了好多早期混凝土结构)，因此预应力混凝土桥梁几乎不再需要维修。

铆接的全盛时期 20世纪初期，西欧和美国生产了用于桥梁的铆接钢制件，以小部件的方式运送到国外，开发不发达国家的交通。

1900年在印度河三角洲上游戈德里架起了一座桥梁。除了临时性的浮桥外，这是在长达1600千米的印度河上架设的第3座桥梁。戈德里大桥有6跨，通铁路和公路：有5跨采用了111米长的桁架，这是当时装运到印度的最长的桁架。它是由英国制造的，制作过程很有代表性。用来钻出铆钉孔的木质样板由于磨损，孔距容易变化。因此，在不同跨距上互换类似的部件是不可行的；所以，在装运前不得不把每跨都组装一遍，并把所有构件编上号。1931年，戈德里大桥不得不进行加固(图36.2)：主桁架增加成为双重桁架；更换了桥面以承受更重的铁路荷载；在桁架外面增添许多支柱来支撑两条3.5米宽的道路。从最初建造铆接结构算起，在30年里，铆接钢结构的装配方法有了很多改进。其中，采用渗碳钢制作的夹具能保证现场铆接时铆钉孔间距非常精确，以便所有类似的部件可以互换。戈德里大桥采用的10个新桁架是在印度制造的，这次只需将一个桁架进行预组装，用以校核工厂里的制造质量。

880



图 36.2　位于戈德里的印度河大桥，建于 1900 年。图中为 1933 年桥梁加固和增建道路后的情况。该桥的简支桁架是印度铁路桥最长的桁架。

1901 年，缅甸建成了一座世界上最高的桥梁。长 687 米的谷特高架桥（Gokteik Viaduct）是一座典型的美国式排架桥，桁架跨越在四腿支撑塔和六腿支撑塔之间。铆接钢制件是在美国宾夕法尼亚州制造的，在现场用悬臂桥式起重机从每一端向外安装。最高的支架高达 97 米。由于它是建在天然拱形岩基上，岩基下面便是钦众河（Chungzoune River），因此钢轨高出峡谷底部 252 米。1945 年谷特高架桥毁于日本人之手；后来，又采用英国造的钢结构将桥重新修复。

1903 年，康奈尔费里桥——有名的悬臂结构，在苏格兰建成。它横跨洛拉瀑布（Falls of Lora），桥仅一跨，跨径 153 米。4 年后，具有同样跨径的、横跨赞比西河的维多利亚瀑布桥建成。该桥建在景色壮观、深达 122 米的峡谷里，给人留下深刻的印象。更让人关注的是，这座平顶、靠拱肩支承的拱桥的架设：先发射一枚火箭通过峡谷，火箭上装有一根细钢绳，用来将粗钢缆拉过去。紧接着过去的是一条起重机用的架空索道，用来传送铆接钢结构的部件，这些部件是在英国

的达灵顿制造的。把钢结构锚固在峡谷两边的悬崖上，以两个悬臂方式向前推进，在中跨处合龙。维多利亚瀑布桥总长198米。两座桁架梁跨把拱的两端连接到悬崖顶上。桥上铺设了两条轨距1.067米的铁道。25年以后，对桥面板的钢制作了适当改造，使桥上能并行通过一条单线铁路和一条公路。康奈尔费里桥也作了类似的更改，把一条标准轨距的单轨铁路改成了公路。

1909年建成的4座大桥是桥梁工程发展史上重要的里程碑。它们是横跨纽约市东河的曼哈顿大桥（Manhattan Bridge）和布莱克韦尔斯岛大桥（Blackwell' s Island Bridge）[后来更名为昆斯博罗桥（Queensboro）]，英国威尔河上的亚历山德拉皇后桥（Queen Alexandra Bridge），以及法国锡乌勒河上高达133米的法迪斯铁路高架桥（Fades Railway Viaduct）。曼哈顿大桥是第一座吊桥，设计允许在荷载作用下钢缆有横向位移。桥的中跨长447米，边跨长220米，由4根吊索支承，每根吊索都是由9472根直径4.8毫米的钢丝组成，高高地吊挂在柔性钢塔上，该桥成为20世纪世界范围内大吊桥的一个榜样。

布莱克韦尔斯岛大桥为悬臂桥类型，与曼哈顿大桥一样具有双层桥面，下层桥面正中间的公路宽11米，在它的两侧各有两条电车道，上层桥面有4条火车道和2条人行道。大桥总长1137米，两个悬臂跨每跨长360米。运来的铆接钢制品部件很重，架桥时，必须将这些部件在结点处用销钉连接起来。桁架的某些部分重达122吨。某些部件必须将多达20个有眼杆件聚集到一起，由一个销钉（直径40厘米，长超过3米）穿过它们的孔眼将其连接起来，孔眼直径仅仅比销钉大0.5毫米。如此困难的装配操作在建桥史上是空前绝后的。亚历山德拉皇后桥也是双层桥，上层有两条铁路，下层设一条公路。桥跨较小，仅101.5米，是英国最重的。钢结构每米跨径平均重29.9吨。主桁架为林维尔（Linville）桁架，梁腹系统的安排有点像两个字母N的

笔画，其中一个 N 的一半在另一个的前方。这样排列的优点是使每个竖杆处的横梁最大限度地靠拢。因此，纵梁短而薄，使上层桥面的厚度最小，以使下层公路上通行的车辆有足够的净空高度。林维尔桁架用钢量太大，而且由于斜杆与竖杆交叉之处漆不到而容易迅速锈蚀，所以在亚历山德拉皇后桥以后，林维尔桁架很快就过时了。法迪斯高架桥有 3 个主跨：中跨长 144 米，两个边跨长都是 116 米。所有桁架高度一致，均为 12.2 米。这是当时法国的典型做法。它们是格构桁架，具有格形梁腹系统，没有任何中间竖杆。法迪斯高架桥的架设与英国的桥梁一样，从两端伸出悬臂，当钢结构在跨中处连接后，桁架就成为简支梁了。格构桁架各部件的重复性意味着每个部件较轻且易于搬运操作，这正是格构桁架安装时很大的便利之处。但事实上格构杆件在每个交会处都被铆接到一起，因而产生了过量的局部变形，这座巨大的法国铁路桥便成为最后一座用格构桁架修建的桥梁。

在加尔各答和西里古里（通往大吉岭）之间，横跨恒河的哈丁大桥（Hardinge Bridge）（1915 年）一共有 15 跨，铺设了双轨铁路，它的架设方法颇不平常。在每个 105 米长的跨间拼装永久性钢结构时，用一个临时工作桁架支承它。使用时，把工作桁架搁置在桥墩上，当一个永久跨竣工后，再把工作桁架装到驳船上浮运到下一个孔。后来，工作桁架经过改造作为永久结构，用于在旁遮普（Punjab）以北、大干线跨越哈罗河的桥上。然而这个用工作桁架把梁构桁架准确地装配到一起这个主意再也没有用过了。跨过有潮的胡格利河的威林登大桥（Willingdon Bridge）（1932 年），跨距 107 米，桥跨与哈丁大桥非常相似，桥跨一个接一个地在河岸的安装平台上装配。涨潮时，利用驳船把已装配好的桥跨顶离船坞支撑物，浮运到桥墩处；退潮时再使它坐落到桥墩上。威林登大桥的两个主桁架中间有两条铁路（轨距 1.67 米），向两边悬臂伸出，各形成一条 5.5 米宽的公路和一条人行

道。一共有 7 跨，每跨钢制件重 2025 吨，这在印度已经修建的同类桥中是最重的。胡格利大桥没有采纳工作桁架思想，因为在恒河，临时安装平台挠度在迅速增加，使桁架各杆件很难对准。这样高标准的精度是否必要就大有疑问。1931 年建成、位于涅尔布达河的一座铁路桥，桁架的斜杆设计长度大于 16 米，要求的制作精度是 0.39 毫米，因为 88 米长的桥跨在安装时要施加预应力。这种精加工的意图是要消除由铆接刚性结点引起的变形应力。当火车通过桥梁使桁架挠曲时，这种变形应力会引起构件的附加弯曲。设计人员声称由于施加预应力从而节省了 9%重量的钢材。拴好的拱门没有桁架的要求高。1951 年在修建横跨塔古斯河的弗朗卡镇大桥（Vila Franca Bridge）时，用一个工作桁架来支撑 5 个长 103 米桥跨的钢制件，已证明是非常合适的。

第一次世界大战后，印度重建了大批桥梁。总的来说，在德里以北和以西经过重建的铁路桥，如果连接起来将长达 57 千米。铁路和公路交通的中断时间从未超过 3 个半小时，这是工程师们引以为荣的。1876 年通车的亚历山德拉大桥，横跨杰纳布河，桥上铺设一条轨距 1 米的铁路和大干线公路，到 1919 年已由原来的 64 跨（每跨长 40 米）减少到 17 跨。1927 年又重新更换大梁，所有废弃的大梁在修建公路桥时又再被利用。与此类似，跨过拉维河、萨特莱杰河、杰赫勒姆河和印度河的各桥也经过重建。杰赫勒姆大桥（图 36.3）全长 1.6 千米，每跨长 30 米，铁路桥和公路桥分开，共用一个桥墩。工人们的技术如此熟练，以至在更换 50 跨桁架中的第 33 跨时，对火车运行的干扰，缩短到只有 70 分钟。历史上有名的阿塔克大桥（图 36.4）是跨越印度河（1883 年）的第一座永久性建筑物，它通向著名的开伯尔山口，两个 94 米长的双层桥跨新桁架越过水面，从桥墩向外悬臂式伸出，新横梁穿过老桁架（1929 年）。新的钢结构由德国制造，从阿塔克桥中取出的老桁架是印度的第一批由低碳钢而不是由锻铁制成的桁架。

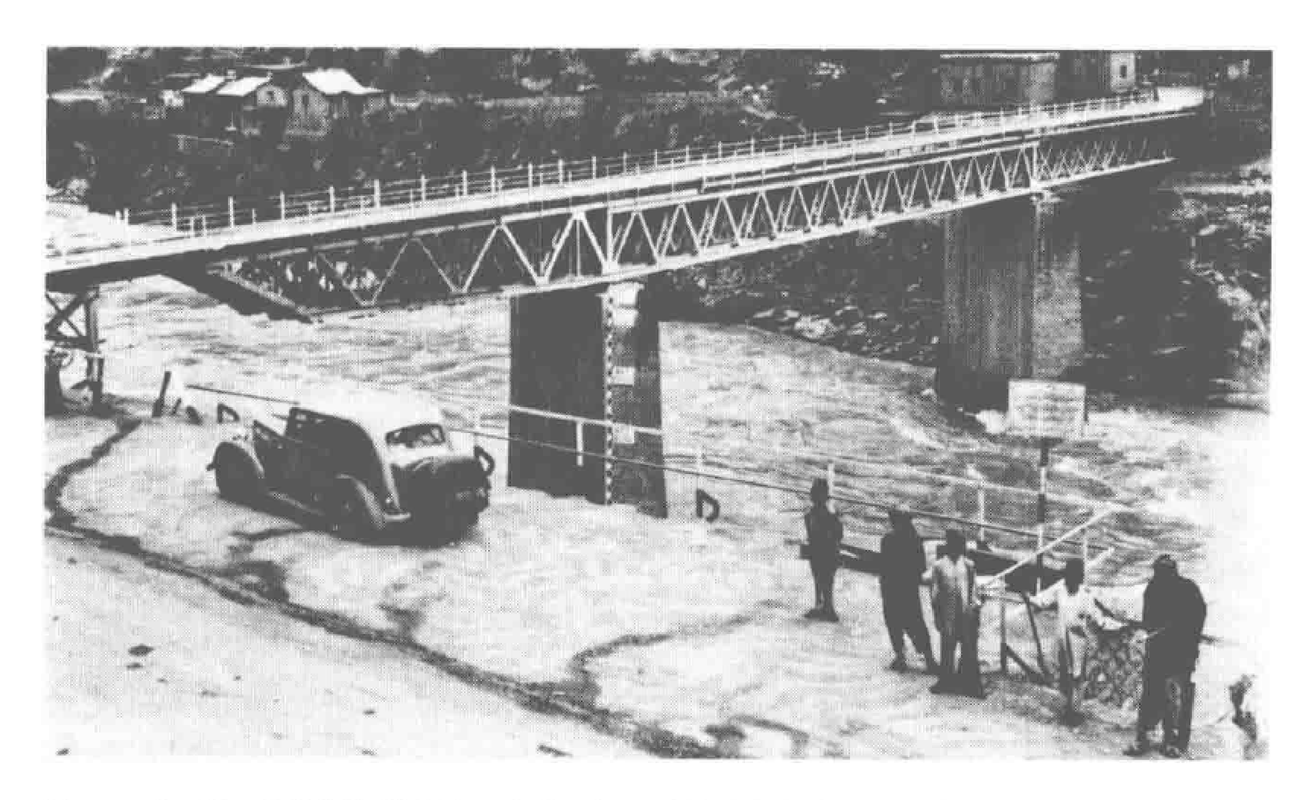


图 36.3　位于科哈拉的杰赫勒姆河谷公路桥，在通往斯利那加的公路上，距拉瓦尔品第 102 千米，海拔 570 米。为了防止滑坡损坏桁架，该桥于 1931 年重建。河流右岸山坡在雨季很不稳定。



图 36.4　历史上有名的阿塔克大桥于 1929 年重建时的情景。该桥始建于 1883 年，距离海岸约 1500 千米，是横跨印度河的第一座永久性建筑，其原先的桁架位居印度最早用低碳钢制成的桁架之列。

884 下赞比西大桥全长3.6千米，于1935年竣工。它的长度居当时世界桥梁第3位，是英国大批量制造的高标准精度桁架的一个范例。共有33个相同的桥跨，每跨长80米，所有类同的构件均可互换。

简支桁架为一根梁跨过一孔，没有中间支承，跨距逐渐增加。1917年建造的横跨俄亥俄河的塞托维尔大桥（Sciotoville Bridge）跨距236米，是当时最长的大桥。1936年建成的位于杜伊斯堡的施佩伯爵海军上将大桥（Admiral Graf Spee Bridge）比它长20米。1966年日本建成了一座跨距创300米纪录的大桥，而美国在俄勒冈建成的阿斯托里亚大桥（Astoria Bridge）更长，跨距超过375米。钢拱桥在安装时下面不需要脚手架，两个半拱按悬臂梁建造，在桥跨正中会合，更为经济。悉尼海港大桥1932年投入使用，具有最大和最重的拱，跨距长达504米。但它还不是最长的；纽约的贝永大桥比它早一年竣工，刚好比它长60厘米。悉尼的这座“衣架”桥所用的铆接钢构件重量是前所未有的：直径34.9毫米的铆钉把总厚度超过30厘米的钢板和角885 钢铆得紧紧的。2000吨的巨大推力施加在拱座的销钉上，而桁架结构与铸钢桥座之间的装配精度保持在0.025毫米以内。当试验悉尼海港大桥时，81个火车头在拱上停放了8天。

悬臂桥跨距的增长并不是以如此惊人的方式进行的。魁北克大桥（1918年）的跨距长度居世界桥梁之首，一个单跨就比福斯桥（1890年）两个520米跨距的每一个都长出27.4米。加尔各答的豪拉大桥（Howrah Bridge）横跨胡格利河，于1943年通车，是印度最繁忙的公路桥。它是一座悬臂桥，仅一跨，长458米，结构独特。庞大的承载桁架被架得高高的，所以从竖立于河边的高塔向塔后岸地伸展的长达120米的锚臂有足够的净空高度，使得沿着平行于河流且紧靠河岸的道路来来往往的电车、公共汽车、卡车及其他车辆能够上桥。在主结构下面悬挂着一个平台，上面铺设了21米宽的公路和两条人行道，

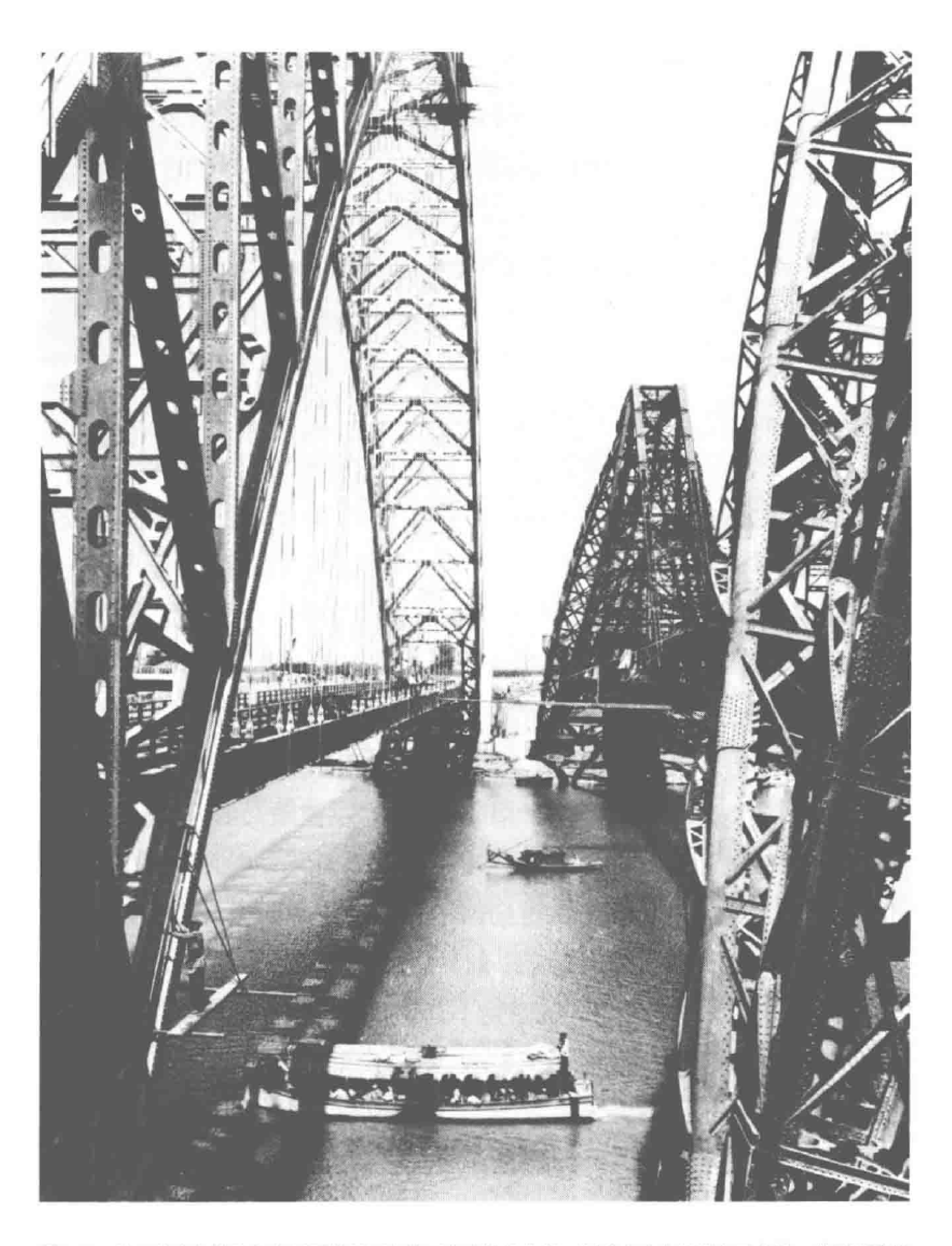


图 36.5　位于苏库尔横跨印度河罗赫里河床的两座独特的大桥。图的右边为兰斯多恩大桥，其悬臂跨的长度 1889 年被誉为世界之冠。图的左边为巴基斯坦的阿尤布拱桥。它是唯一一座桥面板用扣锁式钢丝绳吊索吊着的铁路桥。

其高程使得上桥的斜坡比较平缓，甚至笨重的牛车也不会遇到任何麻烦。豪拉大桥比伦敦的伦敦大桥还要繁忙，1946 年，桥上平均每天通过 12.11 万个行人、2997 头牲畜及 2.74 万辆电车和汽车。

887

豪拉大桥和悉尼海港大桥均为铆接钢结构。阿尤布拱桥（Ayub Arch）（1962 年）、维拉扎诺海峡吊桥（Verrazano Narrows Suspension Bridge）（1964 年）和萨拉萨尔大桥（Salazar Bridge）（1967 年）亦是如此。阿尤布拱桥（图 36.5）是巴基斯坦人的骄傲，它由美国人设计，英国人制造，巴基斯坦工程师安装。它位于苏库尔，跨过印度河的罗赫里河床，取代了著名的兰斯多恩大桥（Lansdowne Bridge）。兰斯多恩大桥的悬臂跨在 1889 年是世界上最长的。阿尤布拱桥只有一跨，跨距 246 米，之所以闻名是因为它是唯一一座桥面板用扣锁式钢丝绳吊索吊着的铁路桥。维拉扎诺海峡吊桥位于纽约港的入口，跨距居世界桥梁之首，长 1298 米，比位于旧金山的金门大桥（1934 年）（图 36.6）所保持的纪录还要长 18 米。维拉扎诺大桥是双层桥，共有 4 条车道，每条宽 11 米，加固桁架深 7.3 米；有 4 根吊索，每根吊索含有 26108 根铅笔那么粗的钢丝；两座塔架高出水面 206 米。潮汐最高时，维拉扎诺大桥下过船的净空高度才刚刚小于 70 米。葡萄牙的萨拉尔大桥（Salazar Bridge）位于里斯本，横跨塔古斯河，也只有一跨，跨距 1013 米；直到 1973 年博斯普鲁斯大桥建立以前，它的跨距居欧洲之首。但是那座连接欧亚两大洲的吊桥，其钢结构不是铆接的。

焊接钢结构 1926 年澳大利亚修建了一座焊接人行桥，它只有一跨，长 27.5 米，属墨尔本一家煤气厂所有。两年后，美国和英国出现了最早的焊接钢桥。英国那座桥为 5 跨门架式公路桥，长 66 米，位于蒂赛德，跨越铁路线。1938 年，英国第一座全焊接铁路桥跨越了伦敦的拉德布罗克园林。它是一座半穿越式板梁桥，供“哈默史密斯和城市”（Hammersmith and City）地铁线使用。设计上没有创新，只是按铆接桥的一般形式来设计，因而不具有焊接装配钢结构容易裁制



图 36.6　金门大桥位于旧金山，1934 年开放时其跨距为世界之冠，长 1280 米（4200 英尺）。其悬吊结构的铆接桁架由小构件在现场拼接而成。



图 36.7　布鲁内尔设计的位于切普斯托、横跨瓦伊河的著名大桥，于 1962 年重建。第一次用于铁路桥的新型焊接箱形桁架跨梁，通过 1852 年的铁结构下的水面作业，正在架设中。

成形的优点。10 年后，在贝里克与爱丁堡之间的 8 座桥梁被一次大暴雨一扫而光。此后，所有的新桁架结构均为焊接的。第一个重要发展是由布鲁内尔（Brunel）设计的位于切普斯托的著名吊桥桥跨（1852 年），在 1962 年为世界上第一个焊接箱形桁架所代替（图 36.7）。箱形桁架分隔为两孔，每孔一条铁路，桁架长 94 米，在工厂焊接和预制，所有现场接头均用托式螺栓连接，托式螺栓由机器自动拧紧到事先确定的程度。每一桥跨的低碳钢仅重 296 吨，平均每米仅重 3 吨多一点，比其他有相同承载力和跨距的任何桥梁都轻。焊接使具有巨大抗扭强度优点的箱形桁的发展成为可能。几年之内，几乎在每一座新架设的桥梁，无论是铁路桥、公路桥还是高速公路桥，都能看到箱形桁的结构形式。箱形桁使桥梁在技术上得到了更进一步的发展，塞文河桥（1966 年）（图 36.8）跨距 988 米，尽管比福斯公路桥（1964 年）的跨距只短 18 米，然而它所需要的钢材量却只有这座苏格兰大



图 36.8　塞文河桥悬吊结构 19 米长的一段，已完成了汽车道、人行道和自行车道，正被运行在永久吊索上的吊车从水面上吊起。

桥的一半多一点。博斯普鲁斯大桥跨距 1074 米，比塞文河桥长，但它是按照塞文河桥的设计制作的。

活动桥　20 世纪，跨越航行通道的活动桥有：开合桥、滚升桥、平旋桥、竖直升降桥和转运桥。除了伦敦的塔桥（1894 年）将其高层步行桥安装在开合桥的上方之外，只有转运桥和竖直升降桥有架空结构。当然，它们一定很高，即使是最高的船只通过时也有足够的净空高度。

转运桥具有为道路交通而设的移动台座，它的功能相当于一只渡轮，但没有水面上下波动所引起的不便。英国 1906 年在南威尔士的纽波特的阿斯克河上、1911 年在米德尔斯伯勒的蒂斯河上各架设了一座转运桥。米德尔斯伯勒转运桥有一个跨径 143 米的中心跨，转运台座的容量为 600 个行人再加 6 辆汽车。1903 年英国在朗科恩的默西河和曼彻斯特海船运河上架设了跨距 305 米的单跨转运桥（图 36.9）。它的移动台座能运送 300 个行人和 4 台满载的蒸汽货车，在 1 分 45 秒内通过；1962 年在这座桥的旁边又架设了一座钢拱桥之后，它就被废弃不用了。法国也架设了一些转运桥，如 1902 年在南特架设了一座，跨距 142 米；在马赛，跨越勒维耶港（Le Vieux Port）架设的那座桥只有跨距 166 米的一跨，直到第二次世界大战才被废弃掉。

根据英国国会法案，活动桥的所有者有责任为桥配备工作人员。由于桥在全年的日日夜夜里要经常运转使用，按为过船而开启桥的次数计算，每次开启的费用看起来相当高。例如，20 世纪初期，伦敦的塔桥一共雇用了 212 个工作人员。为了让船通过，该桥每年都要开



图 36.9 在朗科恩的默西河和曼彻斯特海船运河上，吊在吊桥加强桁架上的移动式平台正在跨越河道，全程 304 米。

启 6000 多次，并且每年有 8000 辆机动车和 6 万个行人通过此桥。不论桥在一年时间里开启几千次还是只开启区区几次，雇用的人数几乎保持不变。横跨卡特河的苏格兰的因希嫩大桥（Inchinnan Bridge）（图 36.10）的滚升式开启跨就是一个很好的例子。该桥用于公路交通，于 1924 年竣工。为位于交叉口上游的造船厂内的挖泥船提供通道，它必须是一座活动桥。到 1971 年为止，该桥开启的次数平均为一年一次，然而雇用工人的开销一年却为 1.8 万英镑。

890

英国典型的公路平旋桥为古尔附近横跨乌斯河的布思渡口大桥（Booth Ferry Bridge）和在苏格兰跨越福思河的金卡丁大桥（Kincardine Bridge）。前者于 1929 年竣工，用了一个重 1016 吨、长 68 米的桁架结构，可通行的航道宽度只有 38 米。金卡丁大桥（1936 年）的旋跨跨距居欧洲之首：桁架结构长 111 米，重 1625 吨。当它旋开时，可

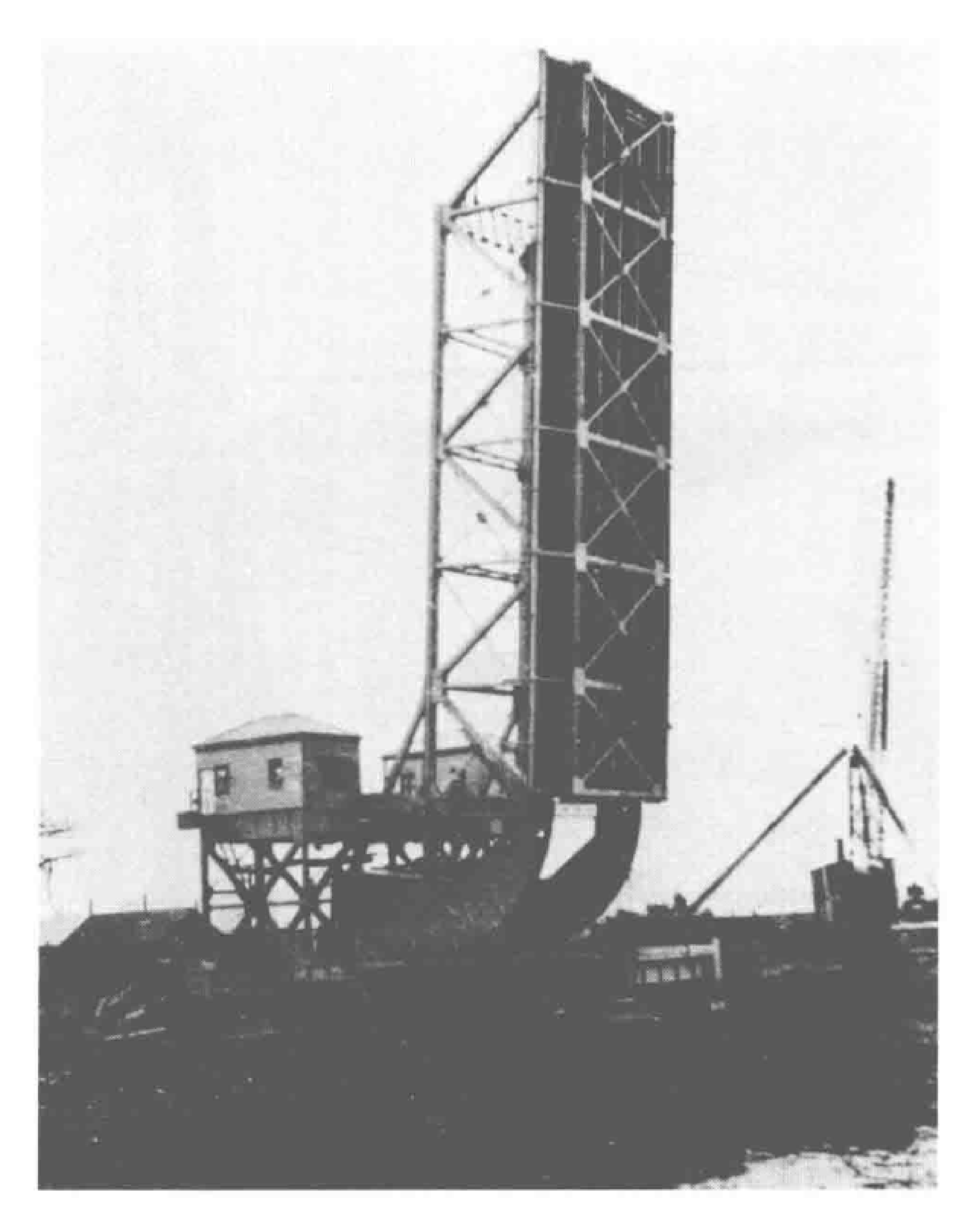


图 36.10　位于苏格兰英奇娜的滚升桥，横跨卡特河，建于 1923 年。该桥开启之后，河面航道净宽达 27.5 米。

提供两条航道，每条宽 45 米。美国有几座更长的平旋桥，跨越威拉米特河的平旋桥（1908 年）可动桁架结构长 158 米；在密西西比河麦迪逊堡的一座平旋桥（1927 年），旋跨跨距为 160 米。1965 年在埃及奥费丹架设的双平旋桥超过了美国。该桥跨越苏伊士运河，它的两扇旋转臂的轴间距为 168 米。

891

1963 年竣工的金斯费里桥（Kingsferry Bridge）是典型的竖直升降桥，它是在该处架设的第 3 座活动桥。该桥跨越斯韦尔河，把谢佩岛

与肯特的陆地连接了起来。它共7跨，中间一跨升起后给27.5米宽的航道留下29米的净空高度。上部结构由几个板梁组成，除了主梁的主要接头是在装运来以后铆接外，其他均为工厂焊接和现场螺栓连接。塔是钢筋混凝土的，由于精心地使各塔柱向上逐渐变细，因而使这一实用结构的外观得到美化。航道两边的每一组柱子在紧接顶部下方用一个混凝土门架连起来，它们的作用是支撑升降滑轮。该滑轮可以容纳159毫米的犁钢圆周绳索附在配重上、周长159毫米的犁钢钢丝缆绳。金斯费里大桥设一条宽7.3米的公路、一条1.8米宽的人行道和一条单线铁路。50年前，谢尔策(Scherzer)滚升桥取代了1863年建成的铰接开合桥，如今它又被金斯费里竖直升降桥所取代。金斯费里桥的提升式桥跨重472吨，由两台电动机操纵其升降，速度为每分钟19.5米。它是一座精致的桥，但作为提升式桥跨来说，则是一座很小的桥。在纽约斯塔腾岛和新泽西之间的阿瑟基尔大桥(Arthur Kill Bridge)(1959年)，有一个长179米的桁架台架。

基础　澳大利亚的霍克斯伯里河公路桥(1942年)和美国的旧金山-奥克兰海湾大桥(1936年)，它们的基础深度居世界之首。两个都下沉到低水位以下73米，而且都是整体式结构，一开始顶部在水面以上，通过抓斗挖除泥土让基础沉下去，不需要人在压缩空气环境里工作。美国那座桥的基础施工是按计划进行的，然而霍克斯伯里大桥的巨型整体基础在施工时却突然急剧下降了3次，因为基础的刃口穿过了薄层岩石进到流沙中。这样一来，只好把巨型整体基础的高度增加60米，还必须在压缩空气环境里工作；在巨型整体基础安全坐落到基岩上以前，不得不用好多包炸药把造成障碍的巨砾石块炸开。

基础工程的一个重要发展是1938年提出了ICOS(Impresa Construzioni Opere Spedializzate，就地灌注桥基法)施工方法。ICOS方法的提出应归功于研究员维德(Christian Veder)，这一方法是把高

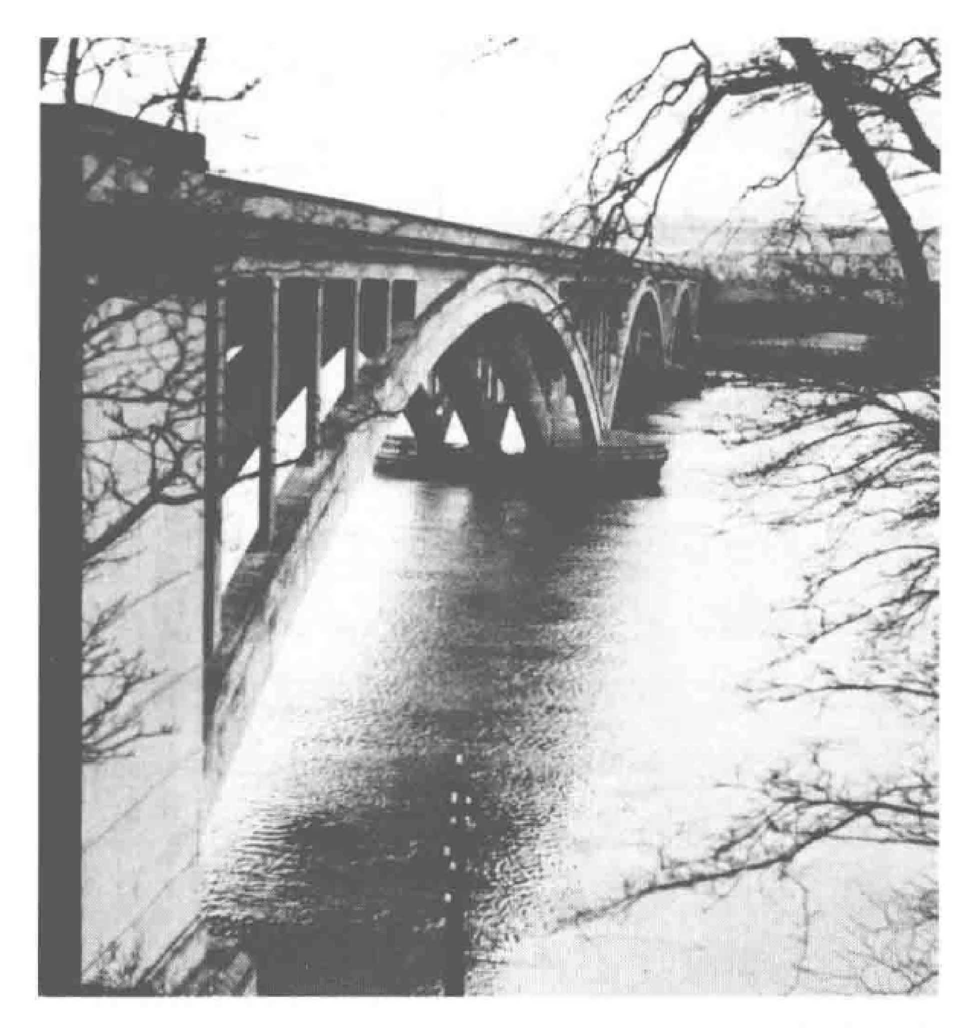


图 36.11 位于贝里克处的皇家特威德桥。桥在从伦敦通往爱丁堡的 A1 公路上，有朝北升高的坡度，建于 1925—1928 年。全桥共有 4 个拱跨，由南端起跨距从 51 米逐渐增大至 110 米，为英国最长的钢筋混凝土桥跨。

892

浓度泥浆灌入挖坑里，使地下水及地下土石不至于落进孔洞。泥浆为膨润土，是一种高胶质塑性黏土。当与水混合时，它会膨胀，其体积将是原体积的数倍，并形成一种低黏性乳浊液。先在挖坑里填满膨润土，然后把钢筋和混凝土修筑在充满泥浆的孔洞里，基础就是这样形成的。被钢筋和混凝土取代的膨润土还可以收回重新使用。同打桩机相比，ICOS 施工方法没有噪声。1962 年，英国最先采用这种方法在伦敦圣乔治医院的旁边为海德公园地下过道建起了挡土墙。

ICOS 方法的施工速度也快。1964 年在巴基斯坦萨特莱杰河架起的长为 1.75 千米的苏伊加斯大桥（Sui Gas Bridge），其基础施工就是采用了这种方法。该桥总共有 27 个桥墩，每个直径 1.5 米，深 40 米，

只用了98天时间便全部完工。在旁遮普冲积平原上，跨河架桥能在一个干旱季节里完工的事情是前所未有的。过去，经常是建一个桥墩便得占用两个工作季节。

混凝土结构 预应力混凝土不会开裂，因此在它被研制出来以后就不再有人反对用混凝土建桥了。它起始于1907年，那时法国有人在跨径30米的拱圈顶部间隙处用千斤顶将两半圈挤开。30年后，人们已确认预应力混凝土桥为可靠、耐久的结构，它的梁即使在满荷载下，其中各部分的混凝土仍保持受压状态。使用预应力混凝土，可产生很高的混凝土安全工作应力，从而节省多达50%的混凝土和75%的钢筋，也使桥梁的外貌格外苗条。由弗雷西内设计的，在埃斯布利横跨马恩河、跨距为74米的预应力混凝土桥就是一个很好的例子。该桥是他所设计的5座类似桥梁中的一座，它的预制混凝土构件是在现场进行后张的，于1949年竣工。

1945年“伦敦中部及苏格兰”铁路公司架设了第一座预应力混凝土铁路桥——亚当高架桥，它在威根附近，有4个跨距9米的桥跨，均由铁路公司所属工厂预制的先张式预应力混凝土梁台架组成，桥上设双线主干铁路。自从1946年以来，每当条件允许，英国所有新的铁路桥总是采用预应力混凝土，因为这样一来，维护费用比较经济。

预应力技术能保证混凝土结构的各个部分都不产生裂纹，因而大大改善了新桥梁的外观。格莱兹维尔大桥(Gladesville Bridge)(1964年)是最漂亮的混凝土桥梁之一。该桥在澳大利亚的悉尼，跨过帕拉马塔河，设6个车道。304米长的拱为世界之最，它是弗雷西内生前的最后杰作之一。拱肋(图36.12)整体重达2.54万吨，是由4个独立的肋构成，每个肋均由安放在脚手架上的预制空心钢筋混凝土楔形拱石组成，并靠千斤顶将其做成拱，千斤顶在每个四分点处将拱肋抬高约90毫米。每个肋有108个楔形拱石，每个楔形拱石重约50吨。施工如此精确，以至几个肋被组合成巨大的单体后，中心线与真正的

894



图 36.12　悉尼附近的格莱兹维尔大桥是拥有世界上跨距最长的混凝土拱桥。图中显示整体拱肋在脚手架上安装的情景，拱肋重 2.54 万吨。跨中附近一艘驳船上有一个楔形拱石正在等待起吊，然后经轨道安放到脚手架上；图的前方还有另一个待运的楔形拱石。从图中可以见到 4 个肋中已有 3 个完成，最后一个肋的楔形拱石正在拼装。

拱线相差不大于 9.5 毫米，每个肋都高出真正的绳索形位置，以抵消将来由于混凝土蠕变和收缩而产生的全部变形。

若说给人印象之深，梅德韦大桥（1963 年）和伦敦大桥（1973 年）也毫不逊色。肯特的高速公路桥（95 米 +152 米 +95 米）与伦敦城最新的大桥（79 米 +103 米 +79 米）的桥跨有点相似。两座桥靠岸的桥跨均为预应力混凝土箱形结构，以悬臂形式向中间孔口延伸，然后在中间孔口安放一悬吊跨完成桥梁的安装，两座桥都靠细长的桥墩通过狭窄的钢筋混凝土铰接支撑上部结构。然而它们的相似也仅此而已。更早期的大桥的混凝土梁是在现场浇筑的，然后按大约 9 米的长度用后张法施加预应力。施工过程为：把建造中的上部结构物支撑在临时塔架上，并在已完成部分向前伸出悬臂钢结构，以便在上面架设模板。伦敦大桥的混凝土块也是预制的。当用后张法施加预应力时，预制块

被悬吊在钢门架上，就像是穿在一根绷紧的绳上的珠子。

装配式桥梁 架桥迅速的装配式结构，在第二次世界大战时发展到了顶峰。英国皇家工程兵的 UCRB（装配式铁路桥），后来被 ESTB（分段桁架桥）取代了。还有军用栈桥，它是模仿 1924 年为印度西北铁路公司（N.W.R.）设计的一种单元可互换式栈桥制作的焊接桥；另一种就是卡伦德 - 汉密尔顿（Callender-Hamilton）桥，它是由汉密尔顿（A. M. Hamilton）在 1934 年设计的，当时他在修造穿过库尔德斯坦的柔万杜孜公路（Rowanduz Road），该桥的组件是由英国一些生产输电线的公司大批量生产的。最重要的应是由贝利（Donald C. Bailey）爵士和皇家工程兵桥梁研究所共同研制的贝利桥。

895

1944 年 9 月在塞纳河马努瓦尔段建成的一座军用栈桥，是典型的 UCRB 结构。它设有一条单线铁路，修建在“浮筒”基座上，曾经抗住了一场罕见的时速 10 海里的洪水。采用卡伦德 - 汉密尔顿装配桥的实例有：在战前用该装配桥重新恢复了阿萨姆的铁路交通；战后很长一段时间，在英国的格洛斯特，还在用它承担横跨塞文河的公路交通。贝利桥最受士兵的欢迎，它是一种特制的装配式桥梁，1941 年同盟国普遍采用了这种桥（图 36.13）。

贝利桥系统完全突破了一般桁架的设计模式。基本构件为一种焊接钢质矩形框架，长 3 米，高 1.5 米，由两个开口菱形支撑方格组成。有 6 个人就能很容易摆弄一个构件。把几个构件的端部相连接，便能很快组成一个桁架，而且只用到最少的额外部件。还可将桁架做成双

896

重或三重并列桁架，或把桁架上下重叠起来形成双层或 3 层的贝利桥。钢制件是由特种合金钢制成的，构件中的滚轧槽钢、工字钢和横梁都具有相当高的力学性能。成功的关键在于构件可迅速互换，这些装配式结构的制造的确是一项值得夸耀的成就。在同盟国进攻诺曼底的前几个月，光是英国就有 600 多家公司生产贝利桥的构件，每一个部件的配合精度都得经过检验。在生产总数为 696 544 个构件中，只



图 36.13 第二次世界大战中欧洲某处的一座浮桥，由双层及三层贝利桥桁架并排组成。在图的前方可以清楚地看到将 3 米长的框架构件拼装成单独桁架的情景。值得注意的是支持横向木质桥面板的梁的排列情况。

有 469 个构件不符合要求，这就是这个全国性工程项目所达到的规格和加工精度。

许多贝利桥帮助恢复了欧洲的交通。工程实例证明了贝利桥系统的应用自如。400 米长的浮桥在 40 小时之内便被架在莱茵河上。韦塞尔长达 700 米的蒙哥马利大桥（Montgomery Bridge）建在桥桩上，它具有Ⅲ—Ⅲ组合的贝利式结构悬臂跨和Ⅲ—Ⅱ组合的悬吊跨，该桥设两条车行道、两条人行道和一条自行车道。以横跨意大利波河的一座旧桥的桥墩为基础，南非工程师用贝利构件架起了一座栈桥——斯普林伯克桥（Springbok Birdge）。它一共有 4 个跨，每跨跨距为 83 米，为Ⅲ—Ⅱ组合桁架，它的长度居此前架设的贝利式装配桥之首，只用了 8 天时间便全部完工。在东南亚，一座安装有塔架和刚性桁架的由贝利构件组成的悬索桥，长 120 米，由 120 名士兵和 15 名熟练的架桥工人在 26 小时内架设完毕。

桥梁事故 1953年圣诞节前夕，新西兰的坦吉韦(Tangiwai)发生了一起最悲惨的桥梁事故，一座铁路桥被一场特大洪水卷走。是上帝的意志，还是工程师错误地估计了排洪孔的尺寸？20世纪多数桥梁事故都是由于麻痹大意造成的，而不是由于认识不足。在通航水道里设置细长的桥墩使得塞文河桥(1875年)和澳大利亚塔斯曼公路桥(1964年)置身险境，前者终于在1960年一个大雾的晚上被船撞坏；后者也不过幸存了9年。在塞文河桥，一艘油轮同一破损的桥墩相撞，并撞倒了这尊桥墩，5名船员当即丧命，幸运的是当时桥上没有火车通过。在塔斯曼公路桥，一艘船撞倒了两尊桥墩、3个桥跨跌落到河里，7人丧生。

1907年，第一座魁北克桥正在安装的重达9100吨的钢结构突然倒塌，因为人们忽视了一个已被压弯的主要撑杆，并任由这种状况慢慢恶化。曾有人发现到桥梁状况恶化的迹象，并在事故发生之前就向纽约工程师办公室报告了，然而没人下令中止危险不断增大的施工，结果75人丧命。 897

1916年，第二座魁北克桥的悬吊跨正当被吊起来以完成悬臂跨时，却滑落到圣劳伦斯河里。一个支撑铸件折断，13人死亡。

这些灾难暴露出人们在安全问题上令人震惊的漠视。这样的漠视在桥梁事故调查中频频被提及，即使到了20世纪70年代仍然如此。1935年，斯尤克星公路桥(Shri Yuvraj Karan Singh Road Bridge)有一半跌落到杰纳布河里(图36.14)，8人丧生。该桥是印度最长的简支桥(跨距137米)。钢结构的安装方法是，从河的两岸以悬臂方式向中间延伸；为了省钱，把一临时支杆中的系带杆已经夹紧在主杆上而不是牢固地用螺栓固定，后来支杆发生弯曲破坏，随之而来的便是一场灾难。1958年在温哥华第二海峡大桥(Second Narrows Bridge)的建造过程中，钢制托梁在格架中叠合由于其薄腹梁没有加强从而发生破坏，结果有8人丧命。1959年兰开夏郡巴顿的一座大公路桥在架设 898

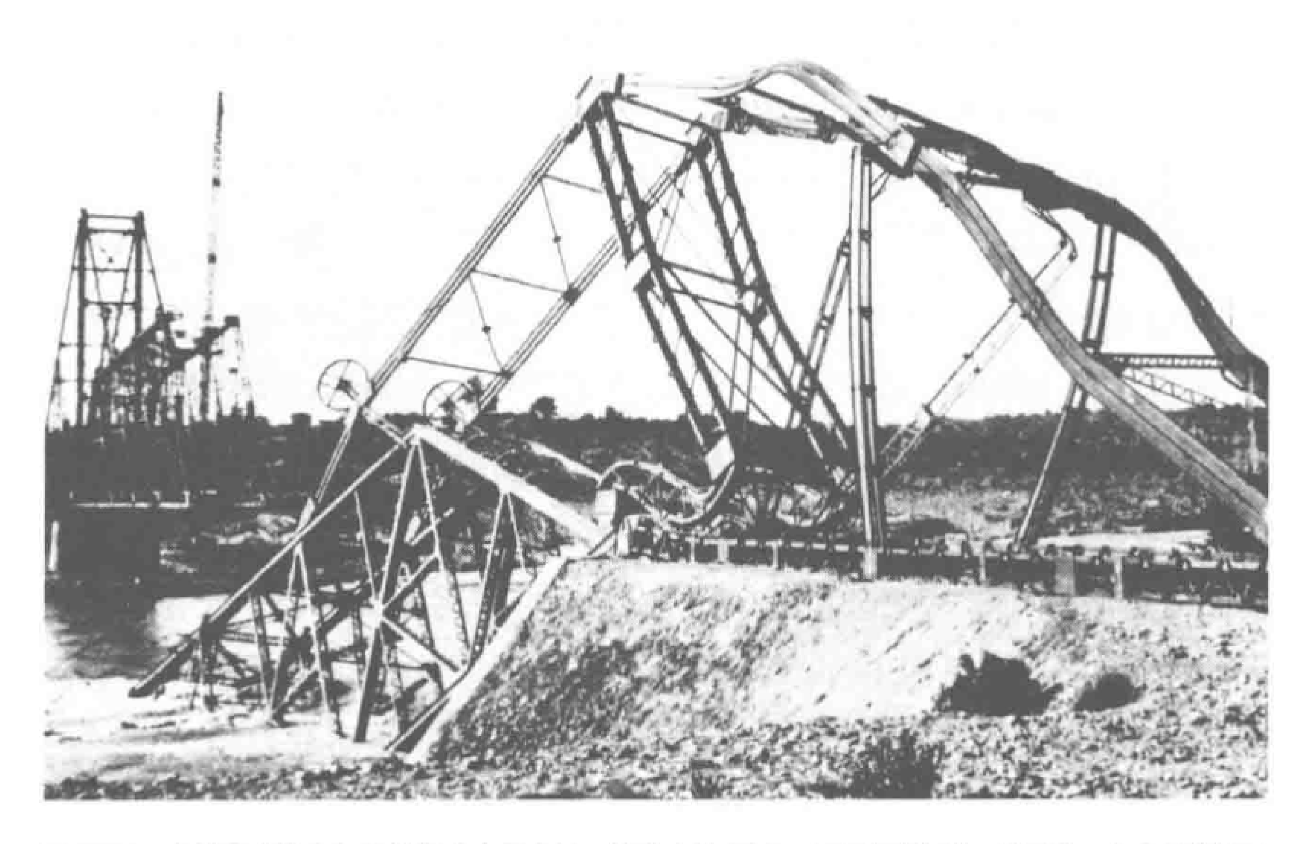


图 36.14　查谟和克什米尔省的斯尤克星大桥，横跨杰纳布河，在建造时失事。原因是一个重要的临时钢支杆的缀条没有牢固地联结，致使脚手架倒塌，桥的一半永久性钢结构坠入水中。该公路桥于 1935 年建成，是印度跨距最长的简支桁架。

过程中发生了两次严重的事故，每次事故中都有 4 人丧生。一次是一座钢制高架桥由于没有足够的强度最后倒塌了；还有一次是 4 根大板梁由于没有安装加强肋来保持它们直立而向一边曲折。

1970 年，在威尔士和澳大利亚正在架设的箱形桁桥突然倒塌，伤亡都很惨重。在米尔福德港，由于设计的疏忽，一座 60 米长的悬臂桥失事；在墨尔本，被寄予厚望的西门大桥也发生了事故。因为劳资纠纷的缘故，该工程被委派给对钢制件起拱没有一点经验的人，他们为了与另一半的起拱相匹配企图对大梁的一半施加过大的荷载。由于这两次事故，人们便把注意力集中到箱形桁的设计和施工上。1971 年英国对桥梁进行了一次普查，结果发现有不少于 60 座高速公路桥

设计欠安全而予以了加固。无视长期建立和安全的做法，使箱梁名声不佳，这个是与扭转的坚固性不符的。

尽管有令人遗憾的失误，20 世纪的桥梁建造在对施工现场全体工作人员的安全保障方面所做的改进，仍然是相当显著的。在英国 3 座主要悬索桥的架设过程中，只发生过 4 起死亡事故；在泰马（1962 年），如果不算一艘超载船的事故，则没有人员伤亡；在福斯桥（1964 年）的整个施工过程中，只死亡 3 人，而 1890 年修建铁路大桥时死亡人数高达 57 人；在塞文河大桥，一名工人在箱形桁中焊接时被毒气熏坏。另一方面，过去的建造桥梁的历史确实表明人们有某种自满情绪。布鲁内尔设计的切普斯托大桥于 1944 年被压弯，因为它被用来支撑异常重的机车；20 世纪 30 年代索尔塔什悬索桥的中心吊索发生断裂，这是由于腐蚀疲劳使吊索强度降低的缘故。不列颠管状桥的斯蒂芬森式箱形桁（1850 年）上的木顶，在 1970 年的一场大火中全部被烧毁勉强支撑着。锻铁在大火中没受损害，然而许多年来，这些桥跨一直在承受着 10 倍于桥建成时所能承受的机车重量。有时候安全系数下降到接近 1，这种情况虽然很少见，但也并非没有，下列事例就属于这种情况。1952 年一座人行桥失事，伤亡 175 人。失事原因为：隐蔽的铁制件由于锈蚀而使强度大大降低。1953 年，跨过老霍利黑德公路的一座铁路桥，中间大梁突然裂开了一条 5.5 米长的口子，不得不禁止火车通行。1953 年，阿德罗森一座由铸铁梁组成的公路桥在非正常的负荷下，铸铁梁的应力达到安全极限的 4 倍，桥梁终于倒塌。

1940 年，塔科马海峡悬索桥（Tacoma Narrows Suspension Bridge）毁于一场风暴；当时一阵中级骤风吹过实心腹板的加固大梁形成强大的旋涡，使得桥板结构发生剧烈的上下颠簸。这座美国大桥失事的征兆由于早已被发现，其临终前的“剧痛”被摄制成电影而记录下来，引起了轰动。布赖顿码头的“布朗船长”悬索桥于 1833 年也毁于一

场风暴；由特尔福德（Telford）设计的著名的横跨梅奈海峡的桥梁于1836年遭受了同样的厄运，爱尔兰邮政车不得不停止渡海。幸运的是塔科马唯一的牺牲者是桥本身。这些灾害引发了人们用模型在风洞里进行重要研究，使设计出的桥面在所有风力的作用下在空气动力学方面都是稳定的。

36.3 隧道

辛普朗隧道（瑞士）于1906年通车。该铁路隧道为两个单线隧洞结构，长20.11千米，于1898年破土动工。两个隧洞的中心距为17米，每隔200米有一横向隧洞把它们连通起来。半个世纪以后，英国铁路公司开挖了穿过奔宁山脉的伍德黑德隧道。它总长超过4.8千米，位于曼彻斯特和设菲尔德之间。隧道里设一条双轨电气干线，于1953年完成，是英国长度第三的铁路隧道。辛普朗隧道和伍德黑德隧道是20世纪开挖隧道的典型，尽管有新的改进技术，挖掘未知的地段仍然是土木工程最不可靠的分支。阿尔卑斯山双线隧道经过2392个工作日以后，于1905年贯通，但已经拖延了6个多月的时间，因为事先没料到导坑在离开坚硬岩层（片麻岩、云母片岩和“结晶大理石”石灰岩）后突然撞上了地层压力很大的、分化了的钙质云母片岩；曾经好长一段时间，所有精力都用在使这些分化物质的稳固上（用大型木材支撑），最后采用了小间距的钢支撑和快硬水泥，工程才得以向前进行；可是每开挖1米，其费用却由原来的162英镑直线上升到980英镑。在伍德黑德，新式隧道取代了两条单线隧道，因为在不太令人满意的条件（由蒸汽牵引机车引起的）下使用，后者的维护不再经济了。推迟了两年多时间才完工，因为原来的施工计划证明根本行不通。长4.9千米的隧道每米最终造价猛增到1100英镑。从4个工作面（洞口两个，约位于隧道中部的竖井里还有两个）同时开挖3.65米 × 3.65米的导洞，然后用辐射状钻孔的办法放大，这个方案

900

后来不得不放弃。因为在块状粗砂岩和页岩状砂岩中用辐射状钻孔的办法扩大已证明不可能做到不过量的超挖。于是不得不把辐射状钻孔方法改为工作面钻孔方法。这种根本的改变要求开挖通向9个洞室的旁通隧洞，对于工作面钻孔开挖导洞需要这9个洞室做起点。这必然导致工作效率下降，因为它不可能使向里和向外的施工交通分开。事先了解地质情况，对于正确选择开挖方法和进行衬砌设计都是至关重要的。设计好的衬砌无论是临时性的还是永久性的，都必须能经受得住爆炸力和山岩压力。

英国最长的压力隧道在洛哈伯，于1930年竣工。为了施工方便，它被分成了12段，总长24千米，横截面面积介于15平方米—17.5平方米之间，几乎完全是在干燥的情况下穿过坚硬岩层开挖的。22个工作面中，进度最快的为每周27.5米。另一个在苏格兰的克卢尼水电站，有一条横截面面积为38.5平方米的隧洞，于1949年竣工，它是英国第一条不设导洞而采用全断面一次开挖的隧洞，穿过了850米长的坚硬岩层。在布雷多尔本水电计划中（1957年），对一个竖直压力隧道采用向上开挖而不是向下开挖的方法，这一施工方法由于出碴方便而引人瞩目。竖井深183米，直径3.65米，穿过坚硬的火成岩开挖，通向圣菲伦斯水电站的进水隧道。施工过程为：先竖直向下钻一个直径162毫米的导孔直至进水隧道，然后把一根提升缆索从导孔放下，并用钩链与装有钢护甲的回采升降车相连接，从底部向上开挖竖井。竖井升降车内能容纳两名钻井工人和一名话务员，话务员的任务是给引爆工人和外面的绞车手发令。当碎裂岩石落到底部时，再用设置在进水隧道中的机械设备把它们运送出去。钢护甲能保护升降车里的人不被落下的岩石砸伤。在引爆炸药以前，将升降车放下来，全体工作人员都撤离到安全地方。

901

1965年在蒙茅斯附近，通过软性岩层开挖高速公路隧道的方法颇不平常。两条隧道都较短，只有188米和183米，但没有支撑却要

保持洞体稳定，开挖的横截面面积111平方米，这的确有点太大了。岩层（砂岩和泥灰岩）要么是需要炸开的坚硬砾岩，要么是松软黏土质材料。直立面是危险的；除此以外，隧道要用双层钢筋混凝土衬砌。工程采用了钢质盾构，其形式与常规相同，跨越整个宽度，于铺设在小导洞中的滑木垫块上面向前推进，小导洞的掘进比隧洞开挖稍提前一点。每个盾构都正好伸到顶部和工作面的两侧壁上，侧壁从底部至顶部向山坡方向倾斜，这样，工作人员受到支撑材料的保护，这些材料或多或少处于自然休止角，所以挖掘工作是在绝对安全的情况下进行的。衬砌混凝土的模板紧跟在盾构的后面，当“推进”1.22米以后（一次爆破所完成的工作量），用千斤顶顶住仅仅在两个半小时以前才浇筑和振捣的混凝土并把盾构向前推进。

罗瑟希德隧道（Rotherhithe Tunnel）1908年通车时，是世界上最长的水底隧道。它的内径为8.25米，设计时考虑允许两辆马拉的家具搬运车通过；引道坡度为36∶1，适合马拉的车通行。该公路隧道以罗瑟希德的洛尼公路为起点，终止于斯特普尼的康默肖公路。它是用铸铁衬砌的，并借助常规盾构穿过软土和含水土层（图36.15）。铸铁衬砌的长度达1010米，每隔0.75米有一个铸铁环，由17个单独的铸件组成。这些铸件法蓝的接合面都是由机器加工的。在隧道的弯道处，每个铸件都经机械加工成特定形状，以便把铸铁环用螺栓连接到一起时，公路将循指定的路线延伸。

罗瑟希德隧道仿效了格林尼治和道格斯岛区之间的一条人行隧道（于1902年投入使用）。这两条隧道都是利用压缩空气把施工现场的水排走后而开挖的。从蒂尔伯里发电站到格雷夫森德的一条电缆隧道，直径3.5米，在1967—1968年挖掘，其开挖方法不同于以前在泰晤士河底对含水岩层施工的任何一个隧道。工人在施工时没有患收缩骨疽病的危险。受雇在压缩空气环境中开挖隧道的工人，每5个人中就有1个人得这种致命的疾病。这条泰晤士电缆隧道在水压高达

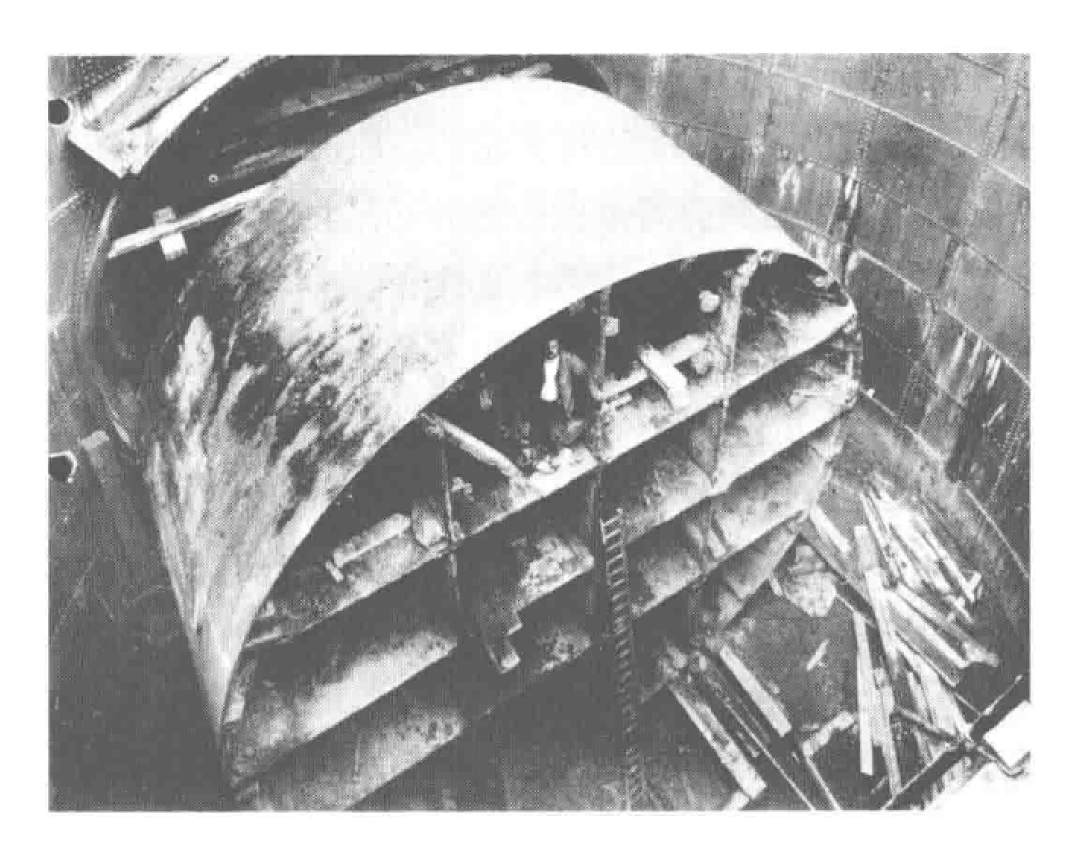


图 36.15（a） 图中为用于开挖罗瑟希德隧道的盾构在一钢质衬砌的竖井中露头的情况。图中清楚地显示了盾构的前部和工人在其中工作的隔舱，当盾构穿过伦敦的黏土向前推进时，工人们用铁锹清除泥土。

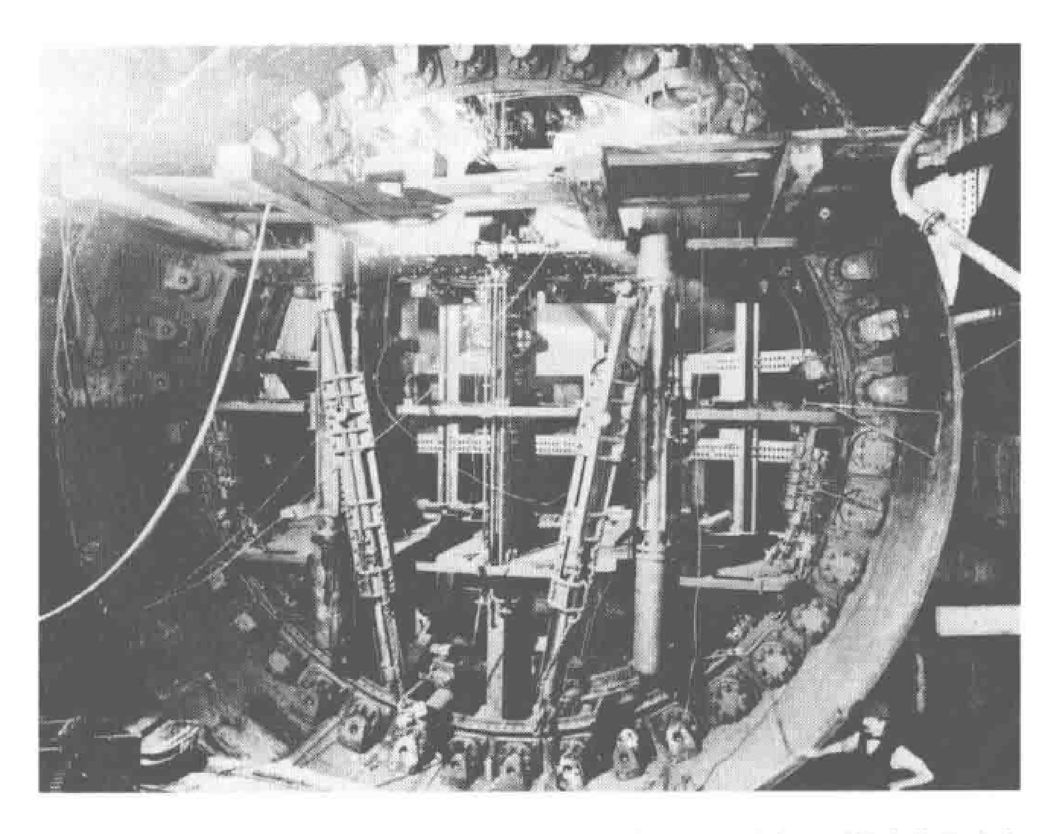


图 36.15（b） 用于开挖罗瑟希德隧道的盾构的后部。此照片摄于盾构安装的后阶段。显示出液压千斤顶，它们在挤压隧道铸铁衬砌的同时把盾构向前推进至黏土中。 两个旋臂液压千斤顶则是用来将沉重的铸铁衬砌单元举起并安装就位。

6.2×10^5 牛 / 平方米的地底下开挖成功。它是用功率为 298 千瓦的电动隧道全断面掘进机穿过白垩岩层开挖的，该机用一个不停地旋转着的钻头凿开岩石，凿出的碎屑落到传送带上，再装上运输车运到竖井的底部。从该处把这些泥土和石屑与水拌和后，用水泵抽至地面。把深排水井、灌注黏土水泥浆处理土壤和不断抽水结合起来，可防止水进入施工区。

盾构开挖隧道的衬砌也有所发展。在波特斯巴铁路隧道的施工中（1955—1959 年），1958 年采用了一套名叫旋转式盾构法的全新系统开挖隧道，用预制混凝土块代替铸铁（图 36.16）。而且混凝土块（造价只有铸铁 1/8）不需要用螺栓连接。

903

在波特斯巴，趁干旱穿过伦敦的黏土层开挖了 3 条直的圆形隧道；它们的测量长度总计达 1665 米，这些双线铁路用于通柴油机车。除了洞门附近一段短距离必须采用螺栓连接的铸铁衬砌之外，其余均用混凝土扇形体做成预应力环形衬砌，以抵抗盾构掘进后土壤的压

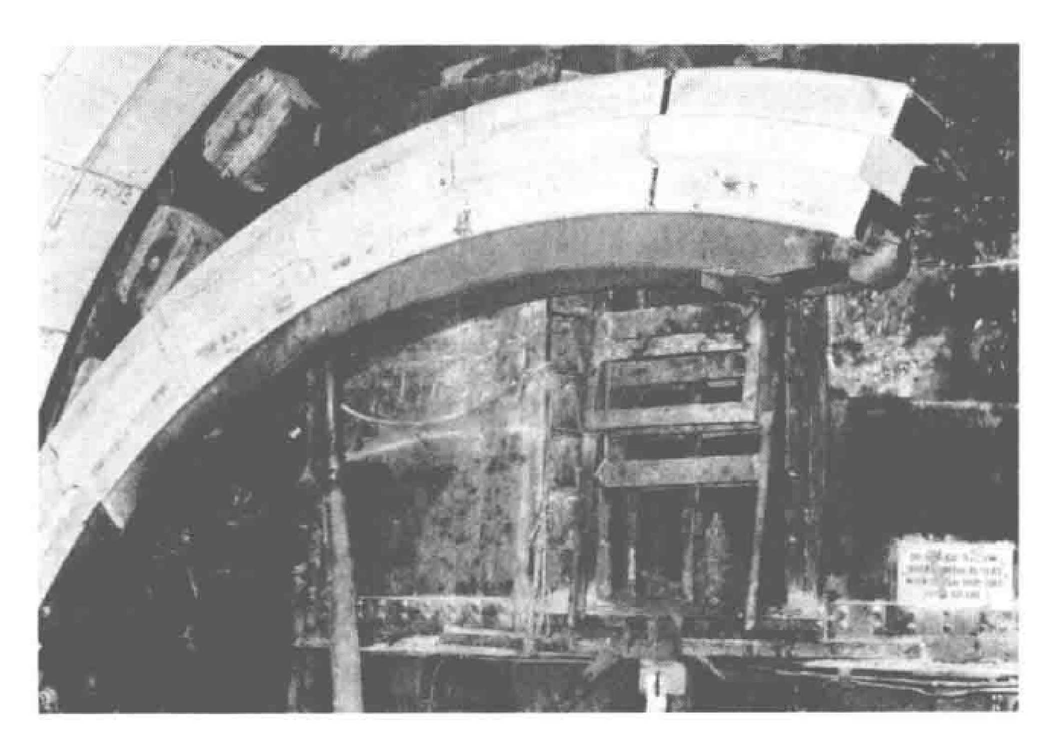


图 36.16　英国铁路公司于 1959 年在波特斯巴附近隧道工程中提出的新颖衬砌系统；6 个相互联锁的混凝土块正由一台安装机安装就位。

力。采用富硫酸盐的高炉水泥保证混凝土能抵抗机车排出的废气中硫酸的腐蚀。浇筑混凝土块用的模板是用机械方法精密加工的，精度在 ±0.25 毫米以内；每个环径向厚 68 厘米，每隔 45.7 厘米就有一个环。为了施加预应力，在轴线高程附近有特制的可容纳千斤顶的混凝土块，千斤顶将环的上下两半挤开。接着在千斤顶顶起的空间里充填混凝土，然后再把千斤顶移走；除了用沥青混合料涂刷毗邻表面作为润滑剂和底层以外，混凝土扇形体不需要作其他任何处理。混凝土单元在浇筑时预留有凸边和凹槽，具有互换性，配合良好。混凝土环向外张开牢牢地顶住黏土，使衬砌外面不再需要费用昂贵的灌浆。

904

旋转式盾构系统是布里奇（Eric Bridge）发明的，他很巧妙地设计了一种全新的螺旋钻开挖隧道的方法。旋转式盾构转起来就像一只螺旋钻，而不是用顶在隧道衬砌上的千斤顶推动盾构笔直向前。大批量生产的预制混凝土块衬砌为双螺旋线形式，与螺旋线形状一致的盾构用两台千斤顶推着一边转动一边前进，千斤顶顶住刚刚铺设好的混凝土衬砌构件。盾构的前端为圆锥形，其切削刀刃集中于一点。操作时，盾构一转动，岩土就被自动切削下来掉在隧道里，一次旋转运动的距离，相当于一个衬砌单元的螺线长度；同时把挖掘下来的岩土清理掉，撤回千斤顶，铺设两个衬砌单元，调整盾构沿螺旋线作下一次推进。在托尔沃思，用布里奇旋转式盾构穿过黏土开挖一条直径 1.8 米的隧道，其开挖速度为每小时前进 1.75 米。盾构有一个人就可操作，千斤顶的动力来源于一台功率为 4 千瓦的电动机。

905

在英国，所有河底的车行隧道都是用格雷特黑特式的盾构开挖的，这种盾构有点像 1869 年托尔地道开挖时采用的盾构。在默西河底下的皇后大道（Queensway）隧道（长 3.25 千米）于 1934 年 7 月 18 日由乔治五世国王陛下（H. M. King George V）宣布通车；1971 年 6 月 24 日伊丽莎白二世女王陛下（H. M. Queen Elizabeth Ⅱ）宣布开放国王大道（Kingsway）隧道，才使由不断增加的交通量导致的交通拥挤有所

缓和。国王大道隧道是用世界上最大的隧道全断面掘进机开挖的。在这以前，该掘进机曾为巴基斯坦的灌溉工程在门格拉挖掘过输水隧道。在泰恩河底下曾开挖过两次隧道：第一次供行人和自行车通行，于1951年竣工；第二次开挖了一条大约2千米长的车行隧道，于1967年通车。克莱德交通隧道于1964年投入使用；在泰晤士河底下的达特福德隧道于1963年通车。所有这些隧道均采用铸铁衬砌。

水底隧道工程——把预制的钢管和混凝土管铺设在穿过河床挖掘好的沟槽里——起始于1910年。最先是在底特律河底铺设了一条铁路隧道。20年后，以同样方式建成的一条公路隧道把底特律和温莎连接起来。在别处，如阿根廷、美国、荷兰和比利时，他们的河底也都有水底隧道承担公路交通。最近（指20世纪70年代），通过在牢牢地埋置在河床上的定位桩上设置平台，保证了在32米深处把隧道单元准确无误地埋到它应有的位置上。

在欧洲也建造了类似的公路隧道，但横截面为矩形，例如：鹿特丹的新马斯河底隧道（1941年）；阿姆斯特丹的科恩隧道（1966年）；鹿特丹的比荷卢隧道（1967年）；阿姆斯特丹的艾河底隧道（1968年）；安特卫普的斯海尔德河底隧道（1969年）。最后一条隧道最大，宽47.85米，高10米，能容纳6条汽车道和1条分隔开的双轨铁路。

参考书目

Bailey, Donald Coleman, Foulkes, R. A., and Digby-Smith, R. The Bailey Bridge and its Developments. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers : Civil engineer in war.* 1948.

Baxter, J. W., Gee, A. F., and James, H. B. Gladesville Bridge. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **30**, March. 1965.

Berridge, P.S.A. *The girder bridge, after Brunel and others.* Robert Maxwell, London. 1969.

——, *Couplings to the Khyber.* David and Charles, Newton Abbot. 1969.

Brown, C. D. London Bridge : planning, design and supervision. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **54**, part I, February. 1973.

Buchanan, C. D. *Mixed blessing, the motor in Britain.* Leonard Hill, London. 1958.

Freeman, R., and Long, A. E. The erection of military road bridges, 1939–1946. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers : Civil engineer in war.* 1948.

Hammond, R. *Tunnel engineering.* Heywood, London. 1959.

Hindley, G. *A history of roads.* Richard Clay (The Chaucer Press), Bungay. 1971.

Hopkins, H. J. *A span of bridges.* David and Charles, Newton Abbot. 1970.

Inglis, C. E. Theory of transverse oscillations in girders, and its relation to live-load and impact allowances. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **20**, Spetember. 1923.

Kerensky, O. A., and Little, G. Medway Bridge : Design. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **29**. 1963–1964.

Kier, M., Hansen, F., and Dunster, J. A. Medway Bridge : Construction. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **29**. 1963–1964.

Leeming, J. J. *Road accidents, prevent or punish ?* Cassell, London. 1969.

Mead, P. F. London Bridge : demolition and construction, 1967–1973. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **54**, part I, February. 1973.

Nichols, H. J. Pre-stressing bridge girders. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, **5**. 1936–1937.

O' Flaherty, C. A. *Highways.* Edward Arnold, London. 1974.

Parry, R. R., and Thornton, G. D. Construction of the Monmouth Tunnels in soft rock. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **47**, September. 1970.

Pequignot, C. A. *Tunnels and tunnelling.* Hutchinson, London. 1963.

Remfry, D. H. The interaction in bridgework of the deck system on the main girders and the consequent modification of stresses therein. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **20**, September. 1923.

Schreiber, H. *The history of roads.* Barrie and Rockliff, London. 1961.

Shirley-Smith, Hubert. *The world' s great bridges.* Phoenix House, London. 1953.

Steinman, D. B., and Watson, S. R. *Bridges and their builders.* Dover Publications, New York. 1957.

Tabor, E. H. The Rotherhithe Tunnel, in *Engineering wonders of the world*, vol. 1. Nelson, London. 1912.

Terris, A. K., and Morgan, H. D. New tunnels near Potters Bar in the Eastern Region of British Railways, *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **18**, April. 1961.

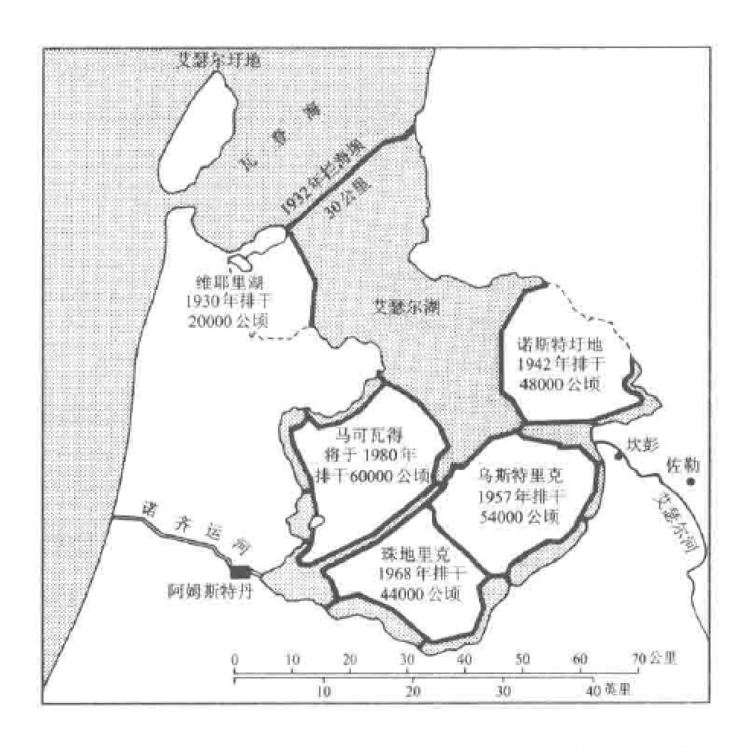
Turton, F. Three prestressed concrete railway bridges. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **27**, September. 1961.

第 2 篇　围海造地、运河、港口和码头

907

36.4　围海造地

1930 年，世界人口达到 20 亿。这个数字是 100 年前的两倍。到 1975 年，人口又增加一倍。在 20 世纪出现了一些大型的围海造地工程项目因此并不奇怪，借以增加土地，为迅速增加的居民提供食物和淡水。两个突出的例子是把海水挡在前须德海的外面，以及把淡水储存在前海的入口，以应付人口稠密的香港。



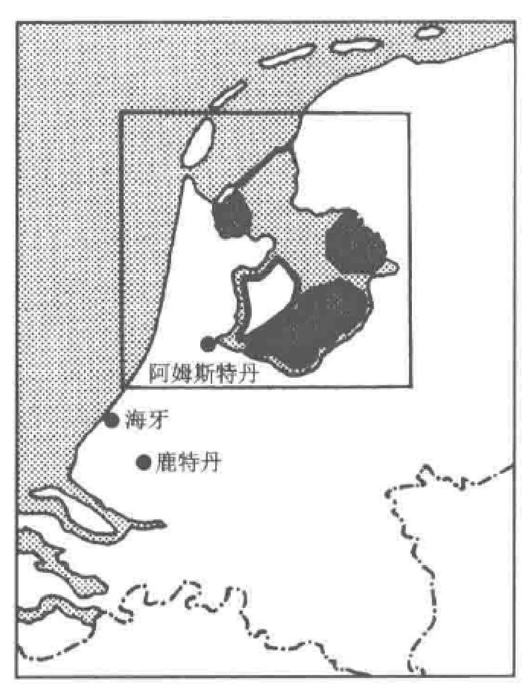


图 36.17　1961 年的须得海地区，图为已开垦的圩田及以后要排干的地区。

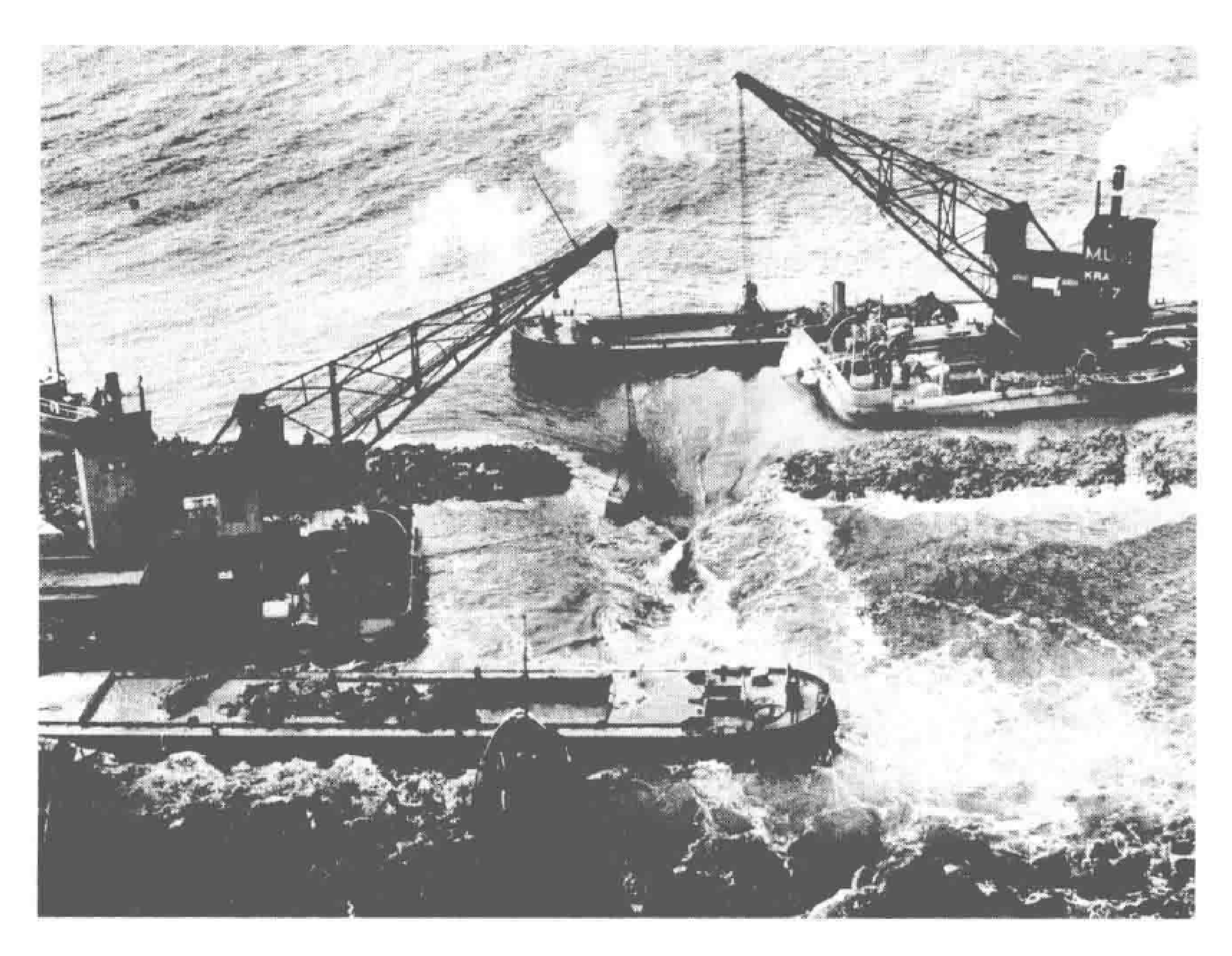


图 36.18　1932 年工程技术人员与强大的潮水激流作斗争，使须得海大坝的两臂合龙。

艾瑟尔湖圩田（图 36.17）　1891 年，莱利（Cornelis Lely）已经作出了围垦 3/4 个须得海的规划。但差不多过了 30 年以后，直到荷兰面临食物匮乏危机的时候，才着手实施这个史无前例的最大的造地方案。在第一次世界大战期间（荷兰是中立国），航运被封锁，使荷兰的粮食进口中断；而在 1916 年，由于古老的堤坝溃决，海水淹没了富饶的农田，荷兰生产的粮食也大量减少。

1920 年 6 月 29 日荷兰开始构筑拦海大坝，从北荷兰省伸至维灵昂岛（Wieringen），再向东北连接弗里斯兰，弗里斯兰位于维灵昂岛东北 48 千米处。1932 年 5 月 28 日合龙完成（图 36.18）。

5 块圩田中的第一块圩田——维灵厄梅尔圩田（2 万公顷）当时就已排干。接着，东北圩田（4.8 万公顷）于 1942 年排干；东弗莱福兰圩

田（5.4 万公顷）于 1957 年排干；南弗莱福兰圩田（4.4 万公顷）于 1968 年排干。最后一块圩田——马可瓦得圩田（6 万公顷）将于 1980 年排干。艾瑟尔淡水湖的残留水面大致稳定在 12.5 万公顷。艾瑟尔湖水来自河流，并在落潮时通过单向闸门部分注入瓦登海。艾瑟尔湖能灌溉肥沃的圩田，能浮运 2000 吨以下的船只，还能保持阿姆斯特丹市的地下水位，使城市建筑物基础中的木桩不致因干燥而风化。

908

艾瑟尔湖的另一个好处是摆脱了老圩田流行的可怕的疟蚊灾害。老圩田的虫灾十分严重，以致过往的汽车虽有挡风玻璃擦，但驾驶员仍常因被冲撞在玻璃上的层层虫子挡住视线而被迫停车。科学家们发现，如果把鳗鲡引入湖中，它们会吃掉蚊子的幼虫。于是，人们利用了这个很平常的自然现象——数以百万计的幼鳗群从马尾藻海洄游过来寻觅淡水食物，设法使幼鳗通过闸门，将其“关进”艾瑟尔湖，难题至此迎刃而解，荷兰人从此摆脱了严重危害健康的灾害。

拦海大坝是用 1350 万立方米砾石黏土和 2300 万立方米砂子构成的。砾石黏土和砂子是用 11 条多斗式挖泥船和 7 条抽吸式挖泥船从须得海海床中挖取的。工作船的总数达 505 条。加固堤坝的柴捆所用的树枝取自荷兰的树林。堤坝斜坡上防止波浪作用的 92 万立方米护面石料则不得不从德国和比利时进口。堤坝底宽 183 米，坝顶高出大潮高水位 9 米，建有两条双线汽车公路和一条单独的自行车路。这套极好的公路设施，改善了通往荷兰国土东北部的交通。船只可沿两条航线通过船闸出入艾瑟尔湖：一条靠近北荷兰省海岸，另一条在弗里斯兰附近。为了控制湖泊的水位——夏季低于荷兰平均水位 20 厘米，冬季低于 40 厘米——在船闸附近集中设置了大量的泄水道。总共有 25 孔泄水道，每孔的直径为 12 米，可用每扇重达 41 吨的一对钢板大闸门来关闭。

堤坝施工中所表现出来的耐心和创造性是令人注目的。船闸与泄水道的混凝土工程在大海中用疏浚的方式挖成，然后在临时围堰中

把水抽干。因此，在最困难的施工阶段之前——在堤坝最后合龙之前，就可以使用泄水道，从而在合龙时免受潮水的强烈冲刷。坝体的水下部分是由自卸式驳船倾倒黏土而筑起的。在此之上，挖泥船卸下砾石黏土，直至坝顶高出大潮水位。在低水位以上，加固堤岸的树枝柴捆用石块压住。最后，在一层麦秸和碎石上，用手工砌上石头护坡以防波浪冲击。

909

为了把潮汐和海流的影响减至最低程度，施工是从一些浅水地段开始的。在这些施工“岛”之间，专门设计了由黏土构成的水下坝体，并由加重柴捆保护，依靠它即使在22千米/小时的急流冲击下仍然不受损伤。大坝预计在1932年春合龙。但由于蛀虫对树枝柴捆的危害，而加快了工作进度，在1931年11月完成了从维灵昂岛到北荷兰省那条较短的堤坝。1932年，48千米长的堤坝合龙时，在水流最后被截住以前，冲刷的深度曾达30米。

维灵厄梅尔圩田工程的进度走在须得海大坝的前头。它在1930年8月21日完工并被排干。一条19千米长的围堤于1929年6月27日完成，阻挡了部分已失去动力的潮水。5个泵用6个半月的时间把水排干。与此同时疏浚和挖掘了整套的小型运河网和排水渠，为新的可耕地服务。为满足居民点的需要，建起了60座桥梁，修筑了250千米的道路和500座农场建筑物，以及必需的学校和教堂。第一批新村庄是在1931年出现的，9年后获得了土地淡化之后的第一个好收成。人口增长给国家带来巨大压力。这压力是如此之大，以至于荷兰政府每要出租一块新农田，就有300多名申请者。

须得海的第2个造地工程——东北圩田，于1936年开始施工；1940年12月完成了55千米长的围堤；1942年9月9日把海水抽干了。圩田中建有483千米道路、69座桥梁，另外还有航行运河和排水渠，为精心规划的11个小居民点服务。为了加速住宅区的建设，农庄的许多建筑是预制的。

第二次世界大战期间，全荷兰的造地工程都被推迟并遭到严重破坏。1945 年 4 月 17 日，德国人在围堤上炸开两个口子，淹没了维灵厄梅尔圩田。48 小时内，艾瑟尔湖的淡水布满了整整 2 万公顷的土地，使所有农庄都横遭浩劫。幸亏事先发了警告，居民们得以及时逃离，从而保住了性命。靠海的一面，堤坝和泵站没有遭到破坏。荷兰一解放，就立即修复堤坝，并把泵站开动起来。到 1945 年 12 月 11 日，从维灵厄梅尔圩田排出 7 万亿升淡水。5 个月后，肥沃的耕地恢复了。就在这一年，即 1946 年，收成恢复了正常。

船湾淡水湖（图 36.19） 1964 年开始修建，4 年后建成。船湾本来是一个小海湾，现成为长 5.5 千米的蓄存淡水的湖泊。它是计划把中国香港居民饮用水的供应量翻一番的设计方案的主要部分。这个设计方案把蓄水能力提高 4 倍，从岛上 1035 平方千米范围内和大陆上一切可能的水源引水。英国工程师负责设计工作。法国、瑞典、日本和中国的承包人员执行填筑工程，一段时间投入的劳动力达 4500 人，

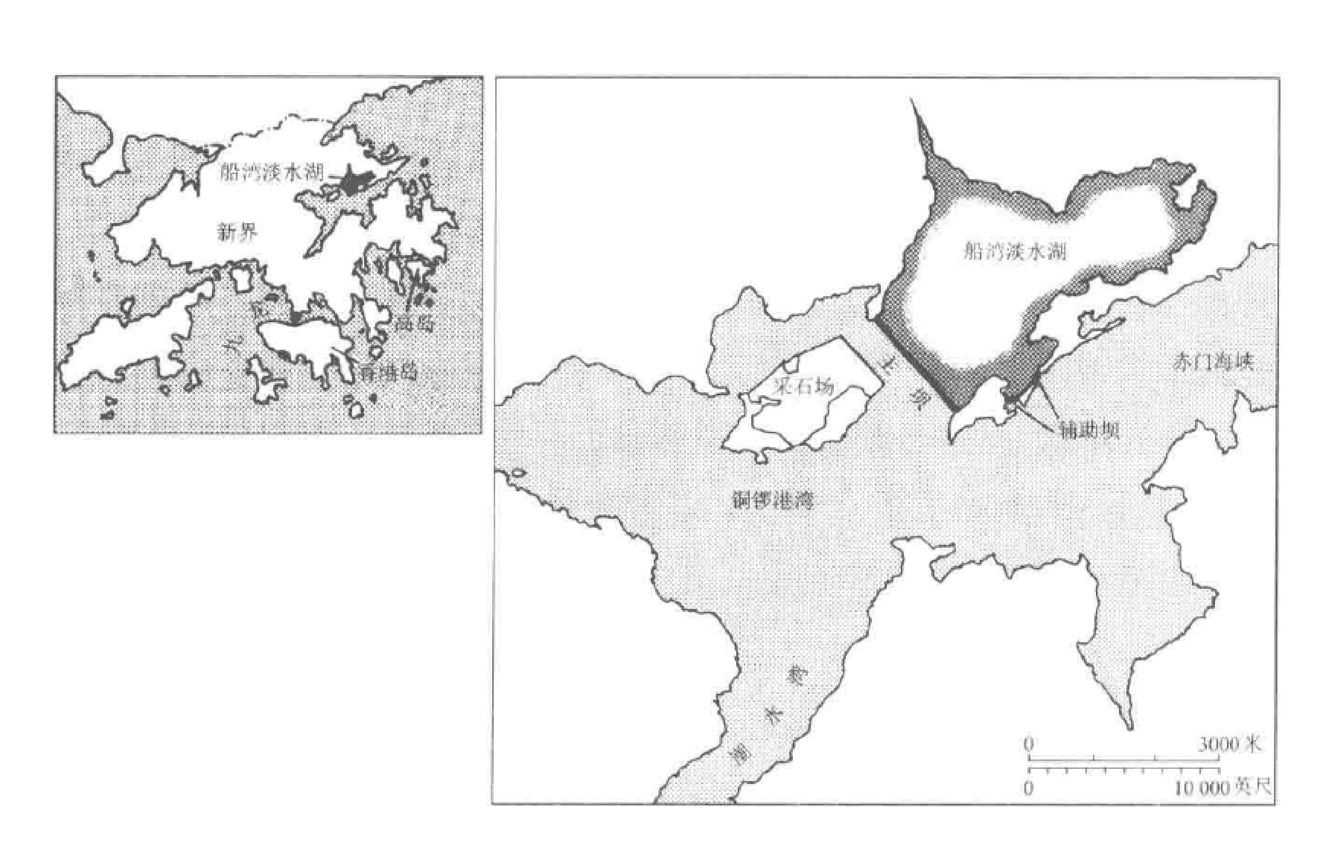


图 36.19 船湾淡水湖海岸地形示意图。

他们是从美国、澳大利亚、荷兰、德国和挪威征来的。

一条长 2070 米的拦海坝和两条分别长 198 米和 210 米的辅助坝把船湾淡水湖与大海隔开。在中间，一条长 224 米的泄洪坝横跨一个小岛，建在坚硬的岩石露头上。拦海坝坝址的海床有 15 米深的淤泥，潮汐海的深度在 9 米至 12 米之间。坝建成后，坝顶高出低潮位 11 米；淡水湖投入使用以后，高潮位海面与淡水的最低水位之差相当于大约 10 米的水头。建筑材料来自本地的采石场。连续两年抛投石料之后，坝体才露出海面。挡海坝共填入了 1625 万吨石头，其中 90% 在水下。

船湾淡水湖是成功的，所以 1970 年又在粮船湾兴建相似的工程。连接海峡两端的堤坝高出海底 91.5 米。海湾和海峡一起储存 8025 亿升中国香港非常紧缺的淡水。

36.5 运河

20 世纪，运河继续发展。除了英国本土的航运由于要广泛使用船闸而使得运河驳船运输在与铁路和公路的竞争中显得不经济外，全世界运河有显著的增长。基尔运河的扩建（1914 年）及时地使德国的无畏舰队在第一次世界大战中有一条从波罗的海到北海的捷径。尽管有通海船闸的限制，1964 年每日通过基尔运河的船只还是比任何其他运河多。巴拿马运河的起因也是海军的需要，结果证明对缩短商业航线也很有价值，以致在 1965 年计划在大西洋和太平洋之间再修一条运河。韦兰运河（1932 年）和圣劳伦斯航道（1959 年）的建成，使大型海洋货轮能够直达北美大陆的腹地。

913

巴拿马运河 1907 年到 1914 年，美国修建了巴拿马运河。它于 1914 年 8 月 15 日首次开放，后来由于严重的滑坡而短期关闭，直到 1915 年才正常投入使用。运河全长 64.8 千米，还有 16.9 千米长的入海通道。运河从大西洋的科隆伸展到太平洋的巴拿马城，在海水中吃

水 12.2 米以下的船只都可以使用。船闸长 304 米、宽 33.5 米。运河两端的船闸把船只提升 26 米左右，以便船只继续沿一条在山脉中开凿出来的淡水河道和由庞大的土坝提高水位的湖泊航行。在修建运河的时候，这个土坝号称有史以来人类兴建的最大的土坝。为使运河穿过地峡，挖掘的土石重达 3.05 亿吨，体积超过“基奥普斯金字塔”58 倍。

巴拿马运河是靠轨道上运行的机械设备开凿出来的（图 36.20）。根据 1962 年撒切尔·费里（Thatcher Ferry）洲际公路大桥通车纪念碑的记载，巴拿马运河的主要建筑师史蒂文斯（John F. Stevens）是一位因从事横贯大陆穿过落基山脉的铁路建筑而闻名的铁道工程师。建筑巴拿马运河依靠在钢轨上滚动的钢轮，其程度大大超越了 20 世纪的任何一项工程。这条路线堪与美国 1885 年建成的连接大西洋和太平

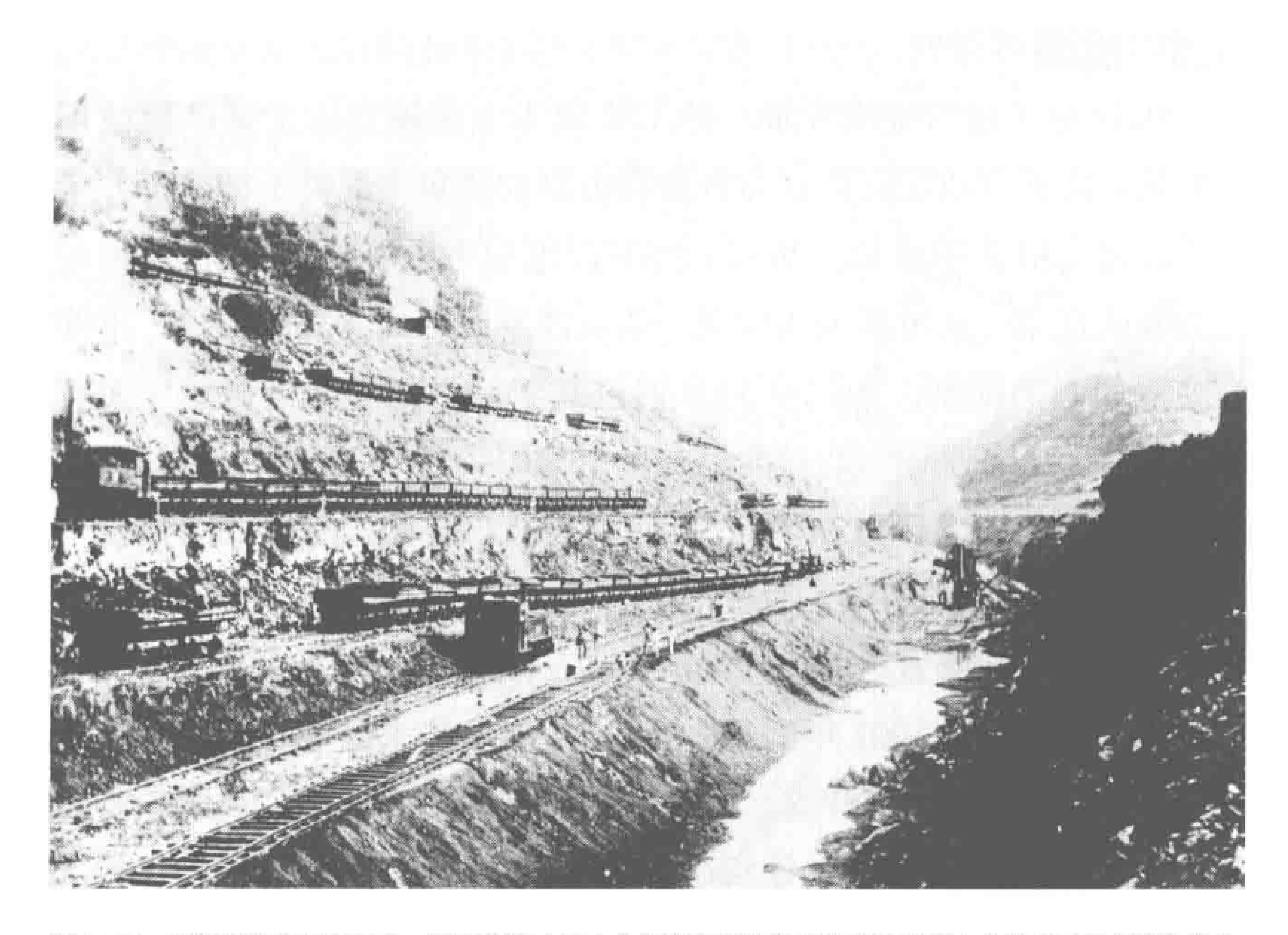


图 36.20　在修筑巴拿马运河中，用来搬运由巨大的库莱布拉挖掘机所挖出的弃土的设施已经全部轨道化。

洋海岸的第一条铁路相媲美。除了湖泊中的航道和入海通道是用挖泥船开挖之外，所有的施工设备都以蒸汽为动力，并在铁路轨道上运行。运河竣工以后，牵引船只通过船闸的电气拉曳机安装在铁路轨道上，并装有齿轮齿轨，以便越过船闸间的一小段陡坡。运河的通航宣告了我们仍处于铁路时代，等于建成了第二条巴拿马铁路。

914

运河的施工以巨大的土建工作量而著称，包括把挖出来的大量泥土和石块移走并堆积到堤坝上去。工程中使用了燃煤蒸汽可移动式有轨施工机械，使施工设备的水平达到了前所未有的高度。穿过山岭时，由蒸汽有轨单斗挖土机在山坡上挖出台阶，并铺上临时铁路线；由蒸汽有轨多斗式挖泥机铲起土石。由大功率 4-6-0 型蒸汽机车牵引的低侧壁平板货车组成的列车把土石运走。在比赛勒斯和马里恩附近，有 100 多台蒸汽单斗挖土机，每台重 70—95 吨，最大的一铲可以搬运 3.8 立方米的碎石和泥土。每台单斗挖土机都停放在它自己的一小段铁路线上，把土石卸装在相邻轨道上慢慢移动的货车上，一次可卸 10 吨。轨道的铺设和移动、列车的卸载以及把卸下的土石铺开等作业，全部是机械化的。轨道要向侧向移动时，9 人一组操纵的轨道铺设机在 8 小时内就能把 1.6 千米长的标准轨距铁路线侧移 2.7 米。轨道铺设机装有长臂移动式蒸汽起重机，它用不着从铁轨上拆卸鱼尾板，也用不着把铁轨从枕木上拆下，就可以使轨道倾向移动。如果用手工操作，这项工作需要 600 个工人。列车载运的土石用利格武德(Lidgerwood)卸载犁来卸载。它是一块可以扫过整个车辆底板的厚实钢制刮板，有一根钢缆使刮板沿列车全长移动，钢缆的一端系在卷扬机的滚筒上。卷扬机装在机车后面的专用车辆上，由机车供汽。犁板偏斜一个角度，可以把土石从列车一侧推出。每节车辆的端壁可以放下，成为车辆间连接器上空的桥梁；而侧壁是铰接的，能够在列车卸载一侧打开而另一侧锁定直立。一台由 10 个人操纵的利格武德卸载犁用 5 分钟时间就能卸完 17 节 40 吨车辆（每节车辆装有 34.4 立方米

的土石）组成的列车。用人工在同样的时间内做完同样的工作则需要400个使铲的工人。为了把卸下的大量泥土和石块铺开和整平，使用了机械摊铺机。这是现代推土机的先驱，它有一块钢质的刮板悬挂在915 特制的轨道车一侧的刚性构架上，并倾斜一定的角度，因此当机车拉着车辆前进的时候，土石就被推出并均匀地铺开。5个人操纵的一台摊铺机，可做400个工人的工作，所花的时间却只有1/15。

巴拿马运河上的船闸是成对设置的。并排的船闸分别处理北向航行（太平洋到加勒比海）和南向航行的船只。大西洋一端的加通湖（图36.21）在一个阶梯上有3对船闸。向太平洋下降的一端，最高梯级和两个较低梯级之间有一个湖泊。每个船闸都分别提升相同的高度。所有船闸的钢质人字闸门都是相同的，高23米。这些船闸有一个特点，它们每次都用粗大的链条横跨船闸的通道。这些链条连接在强力弹簧



图36.21 齿轮-齿条式电气牵引机车操纵船只通过巴拿马运河的船闸。

上，能够拽住冒进的船只，以免撞坏闸门。

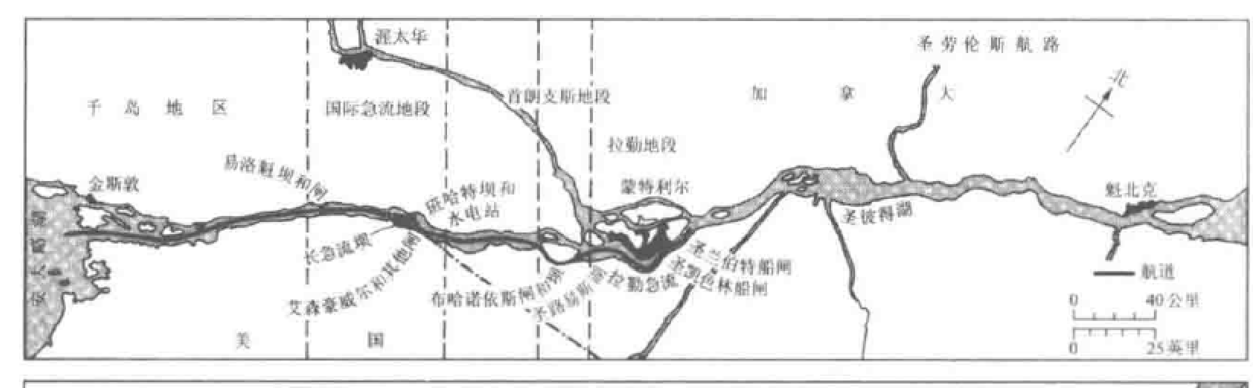
战争期间船闸格外容易遭到破坏。由于这一特殊原因，巴拿马运河的修建被拖延了很长时间。这件事情已成为历史，但故事还有续篇。1945—1947 年间，美国国会讨论了修建第 2 条巴拿马运河的计划。第 2 条巴拿马运河将是海平面水道，只有一对船闸以适应两个大洋海平面的差异。为核时代设计的这条运河将有成对的航道，能通过吃水 18.25 米的船只；船闸宽 61 米，长 475 米；由于太平洋一端的潮汐范围为 6 米，而大西洋一端极小，所以与现存的这条运河上下运行比起来，所需提升的高度是很小的。

916

巴拿马运河使得纽约到旧金山的航程缩短 8047 千米，利物浦到美国西海岸的航程缩短 4184 千米。1915 年，蒸汽轮船不得不牺牲宝贵的载货空间来装载煤炭，还不得不在码头上多花一些停泊时间来装煤炭，所以那时运河所带来的好处比后来由燃油代替煤炭并成为最普遍的燃料时要大一些。因此，尽管有航空运输的影响，每年通过运河的船舶数字从 20 世纪 20 年代的 4443 艘上升到 1960 年的 1.0794 万艘；1950 年还只有 5448 艘，而到 1965 年则超过了 1.2 万艘。虽然在两大洋之间的航程中，通过船闸进入运河的时间不超过 3 小时，但是 1915 年修建的运河有两个缺点：太平洋一端的船闸位置太靠近穿过山脉的狭窄航道；船闸太小容纳不下许多大型船舶。第一个缺点导致在船舶云集时延误航期；第二个缺点使美国海军最新式的航空母舰无法通过。

917

圣劳伦斯航道（图 36.22 和图 36.23）　20 世纪前半叶规划的圣劳伦斯航道，于 1954—1958 年间施工。这项工程是在蒙特利尔和安大略湖之间开拓航道，并与开发河流发电的方案结合起来，称为“圣劳伦斯电力工程”。1959 年 6 月 26 日和 27 日，伊丽莎白二世女王陛下和艾森豪威尔（Eisenhower）总统共同主持了正式通航仪式。圣劳伦斯航道消除了吃水不超过 8.26 米的海船直通内地的最后障碍。发电站



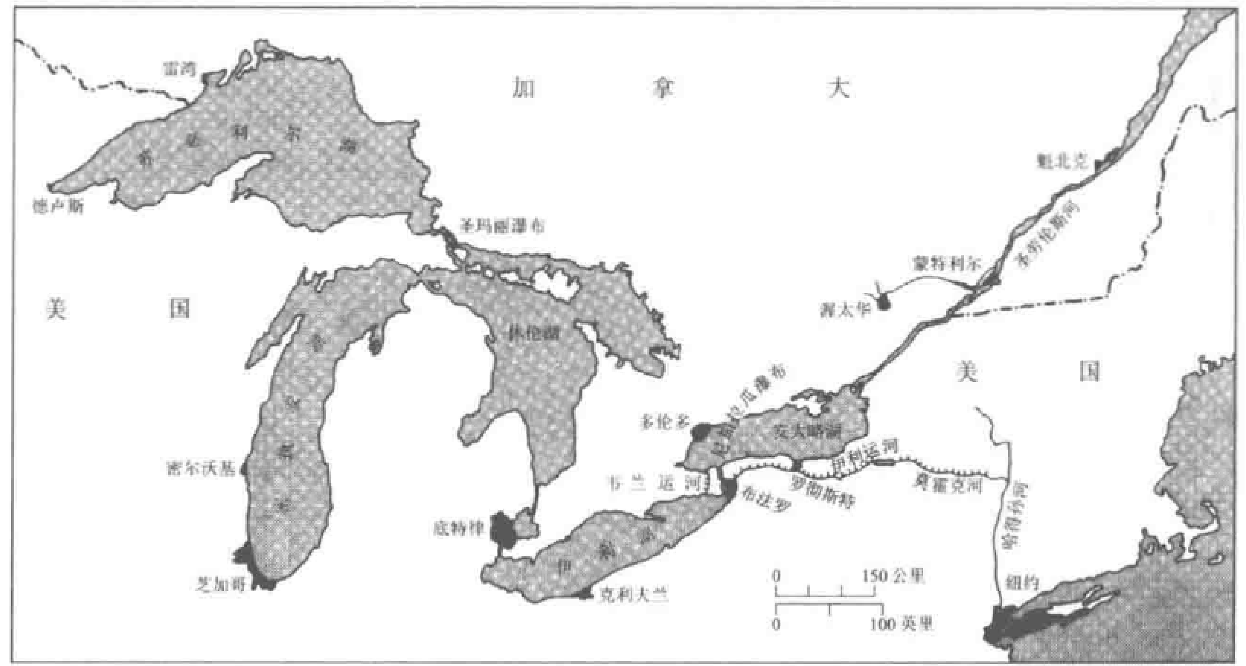


图 36.22　圣劳伦斯航道。

一半在美国，一半在加拿大，发电能力为 188 万千瓦，平均每年发电 130 亿度。为了满足能源的需要，同时也为了满足从拉布拉多船运铁矿石至伊利湖的需要（因为苏必利尔湖以西的矿藏量不能满足美国钢铁工业的全部需要），最后达成一项国际协定，把美国第二大港德卢斯 - 苏必利尔变为一个海港。

圣劳伦斯航道从 4 月到 12 月中旬是不冻的。然而，由于航道在一年中有部分时间不能通航，从 1903 年起有一条深 4.25 米的通海运河绕过了圣劳伦斯河急流险滩，另有一条不封冻的路线可以把粮食从中西部运往欧洲，所以这个最终要花费 12 亿美元［6.5 亿美元花在发电站的建设上，其余花在航道建设及五大湖上游（Upper Great



图 36.23（a） 建筑圣劳伦斯航道船闸的闸壁，包括繁重的开掘工作和混凝土闸壁的施工。

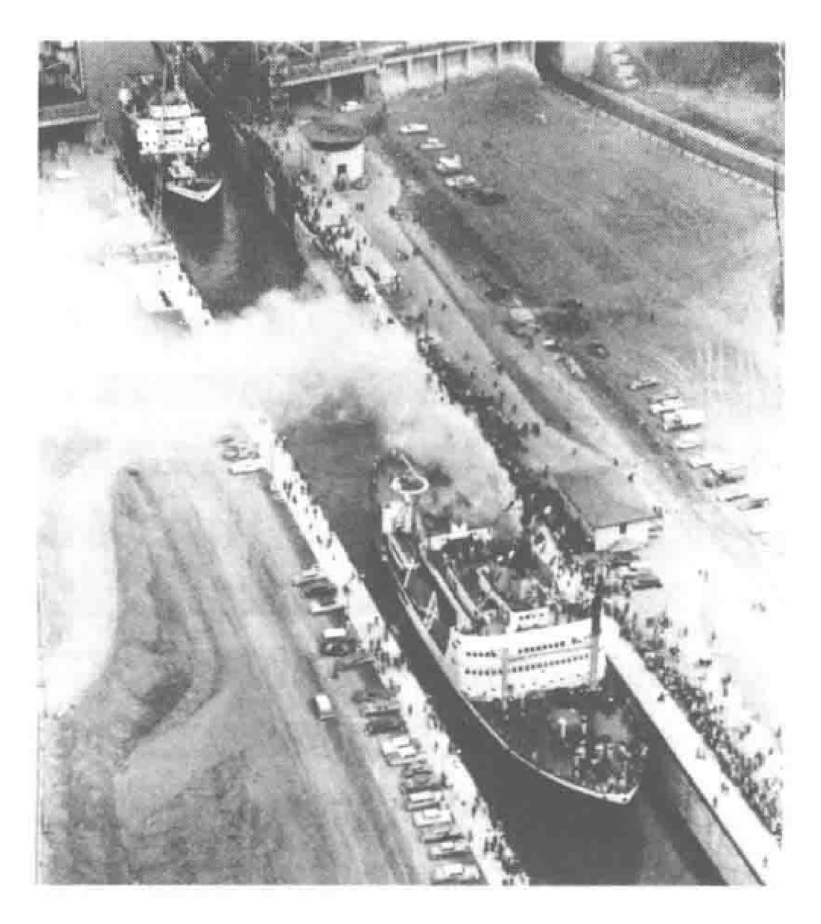


图 36.23（b） 蒙特利尔附近的圣兰伯特船闸。和圣劳伦斯航道的所有船闸一样，航行于大西洋和北美腹地大湖之间吃水达 8.25 米的海船能够从中通过。

Lakes）的整治上］的巨型工程，拖延了一段时间才获得批准。甚至巴拿马运河的通航同时也造成了圣劳伦斯工程的延期开工；1925年，由于铁路运费的下降，经由温哥华和巴拿马运河把粮食运至欧洲的运费更便宜一些。

然而，从圣劳伦斯湾入口直达北美大陆工业最发达的心脏地区的航道，经过长期的评价而逐渐显露它的优越性（第Ⅳ卷，边码551）。

918

1906年挖成的一条深9米的水道，使蒙特利尔成为海洋港口。早在1887年，就已加深了绕过尼亚加拉瀑布的韦兰运河，使吃水4.25米的蒸汽轮船可以在伊利湖和安大略湖之间航行。1932年，又开通了新韦兰运河；全河长169千米，深7.6米；它的8个船闸的水面高于闸底9.1米，是非常高明的设计。加深韦兰运河是将要进行的大湖-圣劳伦斯工程的一部分。至于圣劳伦斯河本身，在1928年修建水电站的时候，为满足水电站冬季在冰下进水所需的蓄水量而挖掘的1000米宽的博阿努瓦电站运河，就考虑到未来航道的要求，挖掘深度超过8.26米。

航道工程包括控制安大略湖溢流；在圣劳伦斯河上筑坝以淹没国际急流；修建一条运河绕过水坝；在海拔较低的一端建造两座船闸，以越过从蒙特利尔港到拉欣急流源头圣路易斯天然湖的12.8米高差，把水道连接起来。为了调节安大略湖的水位，在过去控制溢流的天然石堰下11千米处设置了易洛魁坝和船闸。水坝为笔直的扶壁式重力混凝土结构，设有闸门控制的溢水道，船闸的最大提升高度仅为1.8米。在易洛魁坝下游，是48千米长、2.4—6.4千米宽的人工湖，称为圣劳伦斯湖。它是美国和加拿大一系列水电厂的位差蓄水池，这些水电厂组成横跨边界的国际水电站。发电的水头是24.7米。在这一点，河流被巴恩哈特岛分为两股水道。这一天然特征对于整体工程项目的设计有极大意义。北水道被发电水坝和国际水电站所拦断。发电水坝是直线式钢筋混凝土结构，长1000米，高出基础49米。横跨南

水道的水坝是混凝土重力弧形溢洪结构，长880米，高出基础44米。绕过水坝的怀利-唐德罗运河，长16千米，包括两座船闸，全部在美国领土内。

所有水坝都是在临时围堰后面无水的情况下施工的。发电水坝在急流被排干、河流改道至巴恩哈特岛南面以后一次修筑而成。横跨南水道的水坝则分两段修筑，以免干扰现有运河系统的航运。事实上，所有的施工任务都必须经过非常仔细的规划，以符合国际协定中已规定的3个条件。这就是不得阻断运河的交通；不得影响已有水电站和其他设施的用水；安大略湖的水位要保持在限定的范围内，以满足沿岸生活与工作的农民和其他人的需要。此外，原来已有的和计划中的水电站上游水流的速度必须足够慢，使水电站蓄水池能够结成一层坚硬的冰盖，以免除流冰阻塞进水口的危险。

为了容纳水坝所拦蓄的回水而修筑了大型的夯实土堤；美国一边延伸27千米，加拿大一边延伸5千米。永久淹没的土地在美国占728公顷，在加拿大为809公顷。这部分工程影响到6500人、360座农场、18座墓地、56千米长的安大略省级2号公路，以及64千米长的加拿大国有铁路双轨干线。为了搬迁和安置老百姓，500多座房屋连同一座127年历史的教堂，都用特制的充气轮胎车辆整体地搬掉。

与其说方案庞大，还不如说规划错综复杂，这虽然是为了确保协议条款的贯彻，却对现代技术的进步作出了重大贡献。用11个水力学模型来研究施工对61千米河流水流的影响，是整个施工程序的关键问题。这些模型有助于航道和水电站的整体设计。它们能指明冬天冰下的水流速度的变化。根据这些模型，测量水流必须非常精确；为此，设计了改良的小型螺旋桨流速仪。它必须测出55毫米/秒至60厘米/秒范围内的速度变化，而且必须在离仪器若干距离外记录读数。以前，所有这类仪器都因整流器的摩擦阻力而有误差。然而在圣劳伦斯工程中，一项新发明避免了这种不精确性。这个灵敏的装置能够记

录螺旋桨叶片周围水流电阻的微小变化。这些变化是由1.27毫米的水流前后传导性的微小差别而引起的，这个差别修改了螺旋桨的转速，使其与水流的变化率一致。电阻的变化率指明了水的速度。这种仪表用来测量水面以下的流速。

为了跟踪水面运动的速度和方向，一种精巧的方法被研究出来。在实验室的顶棚上悬挂一台照相机，把被照亮的浮体的路径记录在胶卷上。在黑暗中把快门打开，视场被一个恒速转动的开有小孔的圆盘所遮住，冲洗出来的底片显示出断续的短线，指明每个浮体的路径和速度。

920

这些模型，以及多伦多大学所发挥出来的创造性，节约了大量的经费。在战后尼亚加拉的开发中，安大略水电站根据相似的模型来研究流体，节约了500万美元；通过使用圣劳伦斯模型，节省了相当大的一笔钱。航道运营以后从现场取得的记录，检验了从水力学模型获得的成果，表明这个庞大的设计方案达到了惊人的精确性。如模型所预示，22.5千米长的一段河道，水平面的落差在30毫米以内。

很少有一项科学研究有这样大的效益。圣劳伦斯航道及其附属工程，使得从大西洋到苏必利尔湖4000千米航程中单船的载货吨位增长了10倍。它使得从海平面爬升至世界最大湖泊共183米高程所需的船闸，从31座减少到16座。从前，航行于五大湖和欧洲之间特制的海洋货船长76.5米，宽12.8米，为适应航道修建以前的运河系统，吃水从4.8米减至4.2米，因此载货量不得不少于经济容量。圣劳伦斯航道为长222米、宽22.8米的船舶打开了直达通道。

36.6 港口和码头

1900年以来，由于运输、贸易、装卸物资和政治主权方式的革命性变化，海港经历了彻底的变革。20世纪头25年精心建造的客运浮码头和巨大的海洋集散码头，到1950年已成为多余的东西，预定

要招揽的顾客转移到航空运输线上去了。20年代，燃油轮船已使煤舱设备成为过时的东西。不到30年时间，英国一个能为轮船装2万吨燃煤的海港停止装煤，只装石油燃料。装运的货物单一化，汽车的滚装设备、铁路使用的衰退等，都要求花很大的费用去更新设备，以保证货物的吞吐有利可图，这正是每个港口设计者和码头工程师的目标。

多佛尔、菲什加德、特马和塔尔博特港都有人造港区。每个都代表一种潮流，每个都是筑港那个特定时期所使用的建造方法的典型。多佛尔港的设置，为英国与欧洲大陆之间过往旅客提供了最短的渡海路线。1909年建成的菲什加德港，为大西部铁路公司提供了直达南爱尔兰的路线，并有望延伸到纽约。1915年，战争的需要为加利波利带来声名鹊起的由人造防波堤掩护的“速成”码头；1944年诺曼底的马尔伯里港再次因此而崭露头角。但随后在公海上建造的永久性港口乃是加纳的特马港（1962年）和南威尔士的塔尔博特港（1970年）。

922

多佛尔港　1897年开工，1909年在威尔士亲王（Prince of Wales）的主持下开港。多佛尔港的工程被誉为海上建筑工程的最大业绩之一，远远超过了铁路公司的需要。原来它只要求有27.5公顷的防波水域，最小深度9.7米；而海军部坚决主张242公顷的港区，它的成员对正在增长的德国海军的威胁是很敏感的。后来，和平时期的使用者得益匪浅：它有足够的空间设置火车轮渡码头（1933—1936年）和繁忙的汽车轮渡码头（1951—1953年）。

建港中，在公海上建筑了3千米长的防波堤（岛式防波堤）（图36.24），防波堤是由42吨重的预制混凝土块组成的，在竖直和水平方向上都是半搭接的，用“榫头”键合，也就是在接合面上开槽，填塞混凝土帆布袋。水下的接缝没有用砂浆；水上的接缝用砂浆，并用快凝水泥勾缝。施工的方法是使用在钢制台架上移动的戈里阿瑟式（Goliath）起重机，由特意从塔斯马尼亚进口的蓝桉树原木桩支撑，因



图 36.24 1904 年施工中的多佛尔港。起重机搬运挖泥抓斗、潜水钟和用来建筑防波堤的重达 42 吨的混凝土块。起重机在竖立于公海上的台架上运行。

为这种木材不受凿船虫侵害。最大的堤墙高 29 米，建在硬白垩岩的基础上；它的基部宽 17 米，顶部宽 14 米；从低水位以下 1 米处到顶部，墙面覆有从康沃尔和瑞典运来的经过修整的花岗岩。承包人皮尔逊父子公司（S. Pearson and Son）曾经成功地完成了搁置 24 年的纽约老哈得孙河隧道工程。在多佛尔，他们的工人在潜水钟中用铁锹挖基础。用驳船把波特兰水泥运到现场，一次 160 吨；作为填料的硬砾石来自邓杰内斯，而纯砂粒来自桑威奇，由铁路运来。混凝土块的制作，以每周 4500 立方米的速度拌料，28 天养护硬化。在高潮位以上，20 吨苏格兰式起重机在钢架上移动，向前吊装木桩和钢构件。戈里阿

瑟式起重机是烧煤的，跨度为30米，它们跟在苏格兰式起重机后面，打开海床，抓出淤泥，吊运潜水钟，安放混凝土块。潮汐的范围是小潮4.5米，大潮5.75米，潮流很强劲，只有在4小时的平潮时间内才能工作，在水下安放混凝土块平均每小时6块。在12个月的时间里，575米的防波堤完成了。

菲什加德港 菲什加德港只有一条防波堤，它是由附近山坡上炸取的岩石所构成的毛石墙。轨道蒸汽起重机把石头装入铁路翻斗车，翻斗车开到海边径直把石头倒入海中（图36.25）。防波堤基部宽100米，顶部宽21米，高出海面8米，掩护水域200公顷。其总长度为600米，每米用石200多吨。与多佛尔港铺砌人造混凝土块相比，菲什加德港以很低的成本达到同样的效果。土坡本来就必须切除以便为火车站留出地方。因此，如果石头不马上得到应用，无论如何也应倾倒在某个地方。

924

可惜，菲什加德港有一个很大的缺点。从西南通道涌向圣乔治海峡的海涛被堤岸对面的海岸强烈地反弹过来，使得在所谓掩护水域中



图36.25 菲什加德港内倾倒石块和泥土形成人工半岛状的防波堤。这些石块和泥土是用火车直接从山坡上运来的。山坡爆破和削平后，在原处建造港口火车站。

系泊或抛锚的船只颠簸不止。然而，菲什加德港足以满足它所分担的爱尔兰那部分交通；第一次世界大战前一段时间，丘纳德轮船公司把它作为一个停靠港。“毛里塔尼亚号”(Mauretania)轮船首先这样做，但是船长对港内的波涛冲击非常反感。有一次，船上的美国旅客为此而乘勤务船离船登岸。他们于8月25日上午10点离开纽约，8月30日下午6点40分到达伦敦帕丁顿车站。这一年是1909年。

925 **特马港**(图36.26) 加纳第2个深水港特马于1962年2月10日隆重宣布开港，它是独一无二的。特马港原本是为位于内地65千米处、使用沃尔特河工程所提供的廉价电力的铝厂而修建的。它于第二次世界大战后重新开工，以满足短期内快速发展的这个新兴独立国家的需要。特马离首都阿克拉仅27千米，而阿克拉离塔科拉迪320千米，有铁路相通。塔科拉迪是前英国殖民地黄金海岸480千米海岸上另一个仅有的深水港。特马港不筑在河口掩护处，却有意筑在面临大西洋波涛冲击的海岸上。因为那里有长1600米的深水线(13.6米)，难能可贵地靠近非洲西海岸，没有浅滩阻挡入港水道。

港口有全长5300米的石头防波堤，堤后有200公顷得到掩护的水域。在海上建筑防波堤的方法与菲什加德港相似，只有两项技术得到改进。防波堤的轮廓是经水力学模型试验后确定的，石料取自一座片麻岩采石场，位于通向铝厂的铁路中间。石料装入钢斗中，吊上列车，而在防波堤工作的履带起重机则将钢斗卸下列车。由于与从内地来的石料列车的机车司机建立了无线电通信联系，司机把车辆分送到各条侧线，靠近起重机，使起重机易于卸下钢斗，并把石料倒入海中，因此提高了铺筑的速度，达到每24小时约4000立方米。

特马港于1954年开始施工。8年以后，4个泊位投入使用，港口年吞吐量为38.85万吨。开港一年以后，有9个泊位投入使用，吞吐量几乎增加了两倍。1966年，12个干货泊位装卸300万吨货物；一个油码头处理100万吨；另一个泊位进口22万吨铝矿土，发运22万

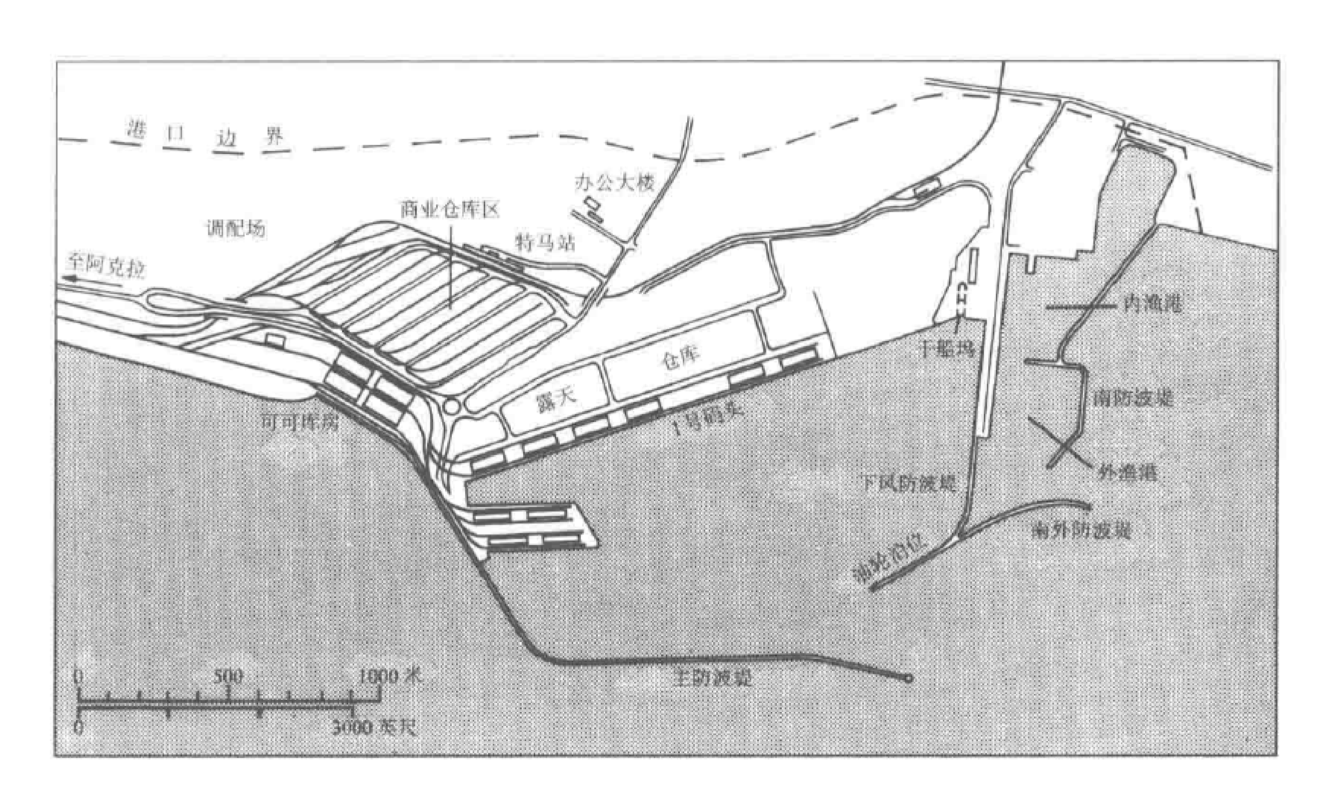


图 36.26 （上）：位于加纳无遮掩海岸上的特马港，指明了进出特马港的航道；（下）：港口的布局。

吨铝锭。而后计划把泊位增加到20个，并实行一项费用很大的疏浚工程，以保证港口的最小深度为8.5米。12年中，工业和贸易得到很大的发展。在附近腹地的高地上，出现了特马新城，人口为5万。1954年时，曾认为8公顷水域的渔港足以满足小拖网船的需要。然

927

而，金枪鱼丰产海域的发现，吸引了美国、英国、日本、斯堪的纳维亚和苏联的远洋渔船；1964年，不得不再建筑一条900米新防波堤，再建一个渔港，水域40公顷，最小水深7.3米，并扩大鱼类加工厂。特马无疑是世界上发展速度最快的港口之一，也是最新的港口之一。

塔尔博特港（图36.27） 塔尔博特港是一个有潮港，潮位升降的范围可达10米。新港（1967—1970年）坐落在19世纪建造的封闭式船坞外面。从前的港口由于入口船闸碍事不能接纳超过1万吨载重量的船舶。现在的港口完全是为进口铁矿石而设计的，以每小时3600吨的卸载速度满足邻近钢铁厂的需要。钢铁厂的堆放场可以存储62

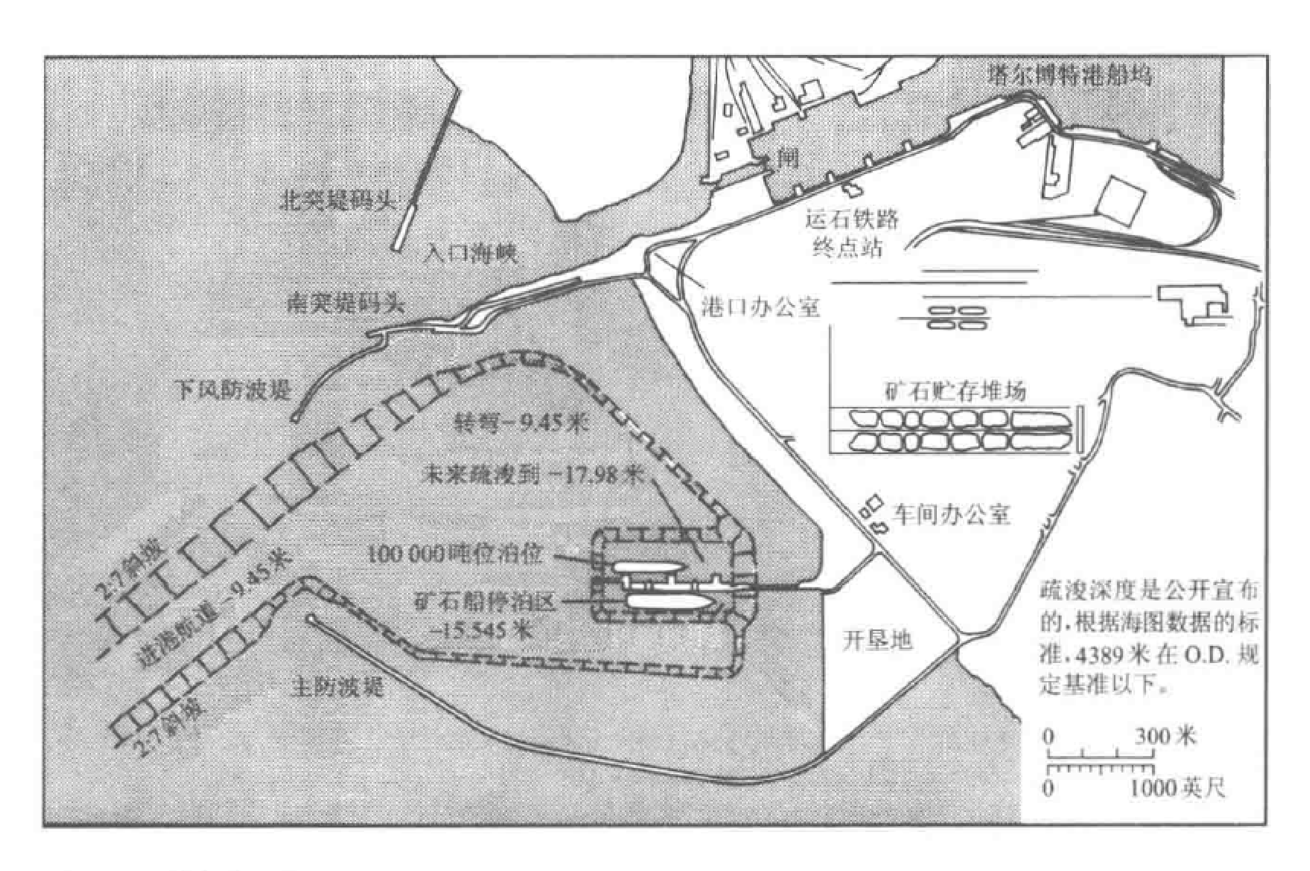


图36.27 塔尔博特港。

万吨矿石。最后它将接纳装载15万吨矿石的船舶，年吞吐量达2000万吨。它使英国钢铁公司有可能用轮船从南美洲和澳大利亚西部进口大量便宜的矿石。进港航道必须疏浚到允许载货量很大的船只（载货水线为16.7米）通过，长度不到1.5千米。与欧洲大陆大多数港口的进港航道相比，它的距离是最短的，因此设置塔尔博特港为钢铁工业服务是很有利的。

928

在这个港中，矿石船泊靠在面对盛行风向的栈桥式码头。矿石船浮于疏浚出来的深水沟槽中，船底下面的水深不低于60厘米。借助另一疏浚出来供调头的深水沟槽，满载的船舶差不多可以在任何潮位的情况下停泊码头，并进入由两条堆石防波堤掩护的水域。较短的一条堤从背风岸伸出，另一条两倍长的堤从对岸伸出，加在一起，防波堤总长2100米。施工的方法是从岸边向外“倾倒”，由履带起重机



图36.28　栈桥，第一艘矿石船于1970年3月泊于塔尔博特港码头，从加拿大运来4.6万吨矿石。

铺放护面石块。由 14 辆自卸载重车组成的车队在一条专用线上以 64 千米 / 小时的速度运行，3 年中为防波堤运输了 900 万吨的石块；单车载重 35 吨，平均运程为 14.5 千米。用抽吸式挖泥船挖出淤泥、砂子、黏土和砾石，所形成的入港航槽和停泊水槽的坡度为 2∶7，用聚丙烯板材填以石块来保持稳定。挖泥船由短程相位导航系统来定位。防波堤上石块的铺设，在黑夜和雾天照常进行，由仪器精

929

确地控制。塔尔博特港的施工，是有史以来机械化程度最高的港口工程之一（图 36.28）。

参考书目

Bazlen, K. A. *Zuiderzeeland.* N. V. Uitgevers Maatschappij Diligentia, Amsterdam. 1952.

Chevrier, Lionel. *The St. Lawrence Seaway.* Macmillan, Toronto. 1959.

de Glopper, R. J., and Segeren, W. A. The Lake IJssel reclamation project. *Endeavour*, **30**, 62. 1971.

Ford, S. E., and Elliott, S. G. Investigation and design of the Plover Cove water scheme. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **32**, October. 1965.

Hammond, R., and Lewin, C. J. *The Panama Canal.* Frederick Muller, London. 1966.

Hills, T. L. *The St. Lawrence Seaway.* Methuen, London. 1959.

Holden, Otto. St. Lawrence Power Project —Hydraulic features. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **18**, April. 1961.

MacDermot, E. T. *History of the Great Western Railway.* Great Western Railway Company, London. 1927.

McGarey, D. G., and Fraenkel, P. M. Port Talbot Harbour : planning and design. *Minutes of Proceedings of the Instutition of Civil Engineers*, **45**, April. 1970.

Ordman, N. N. B. Port planning : some basic considerations. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **37**, June. 1967.

Ridgway, R. J., Kier, M., Hill, L. P., and Low, D. W. Port Talbot Harbour : construction. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **45**, April. 1970.

Scott, P. A. Port of Tema. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **32**, October. 1965.

van Veen, Joh. *Dredge drain reclaim.* Martinus Nuhoff, The Hague. 1952.

第37章 房屋和建筑学

罗兰·J. 梅因斯通
(ROWLAND J. MAINSTONE)

930

19世纪的最后10年是大有作为的。在欧洲和美国，新型建筑材料——钢筋混凝土的地位逐渐确立。钢代替了铸铁和锻铁，并且出现了电梯、电灯和电话，同时还发明了供热系统，这使得大楼能够建到以往除了特殊用途之外不敢梦想的高度。在芝加哥，伯纳姆（D. H. Burnham）所设计的瑞莱斯大厦（图37.1）和沙利文（L. H. Sullivan）所设计的卡森百货公司（1899年，1903—1904年）成功地开创了建筑发展的新阶段，并且指明了通向20世纪新建筑学的道路。

然而，建筑新技术的应用一直是参差不齐的，因此新城市景观常常成为明显的对照。例如，宏伟的、有着铁制弧形屋顶的伦敦圣潘克拉斯车站（第Ⅴ卷，图25.1）前面，是有着粗大的新哥特式柱子的吉尔伯特·斯科特饭店（Gilbert Scott's hotel）。更为严重的是从人道的角度来说，早期的建筑技术并没能恰当地解决由新兴产业所引起的急剧膨胀的人口的住房问题。现代工厂建筑物的周围是拥挤的、有损健康的棚屋或廉价公寓，它们鳞次栉比地紧挤在一起，四周只有一点点狭窄的、空气不流畅的空地。作为对第一个经历大规模工业化的国家的惩罚，英国的状况可能是最糟糕的；但在其他国家并没太大差别，这些国家只是在晚些时候才感受到强烈的冲击。无论什么地方，贪婪的工厂主、在为新工人建房中投机的建筑商、假装嫌恶工业



图 37.1　芝加哥的瑞莱斯大厦，建于 1894—1895 年。

景象的怀旧主义者、未能充分了解情况便作出决策的掌权者，都应对此负责。

20 世纪上半叶的主要成就也许在于，充分认识到早期的技术潜力并且持之以恒地更广泛、更平衡地应用现有的技术。其间，基础技术也并非停滞不前。它继续发展，有时近乎独立地发展，有时为直接满足需求而发展，因而这一点必须引起重视。总的模式是交织如麻，虽然不像 19 世纪那样杂散，但也远不是整齐划一的。两次世界大战都以空前未有的程度打断了发展的进程，然而战争的后果又极大

931

地刺激了技术进步。这种刺激不仅来自广泛的破坏（如1871年的芝加哥）和正常建设的拖延，更重要的是源自社会和政治的动荡。此外，制造业中某些方面的进步、视觉艺术的深刻变化及其所引起的建筑学家创造性视野的变化，也是重要的刺激源。

简要叙述1900—1950年这段时间的发展情况，有一个基本困难：某些新建筑方法从初始概念的提出到最终实现有一个时间跨度。在这样长的时间尺度里，第二次世界大战结束后的5年是短了些，无法看到当时所设想的一些新方法的实现情况。因此，在本章末尾对20世纪50年代初期作一些展望，是合乎需要的。尽管如此，我们仍将从基本技术的简明发展史开始论述，其中包括：材料和部件；建筑方法；维护建筑物和控制内部环境的方法；设计的理论基础及其实际应用和整理。

37.1 材料和部件

基本建筑材料，简称“材料”，其进展情况已在其他章节叙述过了。因此，这里只简要地谈谈某些比较重要的建筑材料，并着重于它们的新用途。然而，讲新用途时，并不涉及其最终的使用范围——完整的结构形式或建筑物。这部分内容将放到后面讨论。

钢 热轧软钢搁栅和其他型材是在19世纪末首次利用的，并且在本章所论及的整个时期继续使用。然而，型钢的规格并不适用于所有的建筑。特别是工字钢，有着比较厚而窄的有锥度的翼缘，作为横梁是很有效的。但是，它在沿翼缘弯曲时的刚度比沿腹板弯曲时要小得多。这使其很不适合用作立柱，因为立柱可能沿任何一个方向弯曲和屈曲。起初，这一缺陷和由于型钢尺寸规格的限制而产生的缺陷，是通过拼装组合型钢的办法来克服的：在工字钢的边缘铆上平板，或者把一组槽钢、角钢或丁字钢组合或缀合在一起。例如，前面所提到的瑞莱斯大厦的所有柱子都由4对角钢缀合而成，角钢两两相接形成

932

内转向的组合丁字钢。这种形式当时被称为格雷柱。当然，制作这样的组合件需要大量的现场铆接工作。后来格雷柱又采用了宽翼缘的梁，虽然这要求复杂且昂贵的轧制方法，但好处是用厚度均匀的翼缘代替了过去的锥度翼缘。1901 年，首先在卢森堡轧制出宽翼缘的梁，然后在 1907 年，美国也实现轧制了。

另外两项革新的起始日期不能精确地确定（因为它们最初并不需要像建立新工厂那样大的投资，而是逐渐被采用），这就是以焊接代替铆接（或螺栓接）及冷轧轻型钢材。尽管两者在 20 世纪 30 年代逐渐普及，但焊接至少是 10 年前就在建筑行业中崭露头角了。工地上，这两种技术使构件的连接更简洁、坚固（图 37.2）。车间里，同样可以提供更简洁有效的方式来制作组合型钢，以满足标准规格的轧制钢材不能满足的要求。冷轧型钢是把平板带钢纵向折弯而制成的，因此厚度总是均匀的。更大、更复杂的型钢可以用点焊的方法把两件或两件以上的基本轧制钢材拼装起来，而不是直接轧制。例如，高效的箱

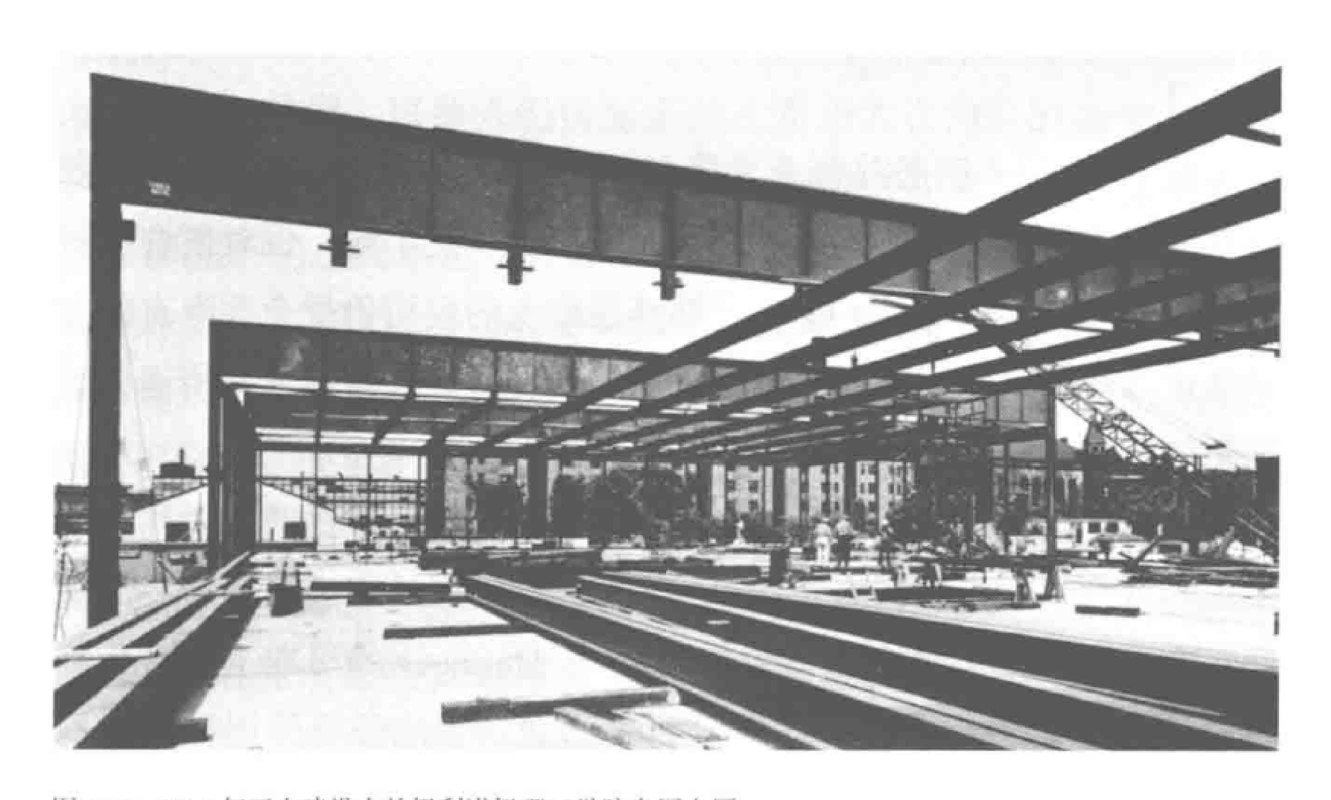


图 37.2　1955 年正在建设中的伊利诺伊理工学院皇冠大厅。

型材就可以用这种办法制作出来。第二次世界大战期间，飞机工业的发展大大促进了冷成型工艺。大战后，焊接愈来愈多地用于构件的连接，同时也缓慢地使结构设计重新采用管材（19 世纪人们最喜欢的铸铁柱形式）。

产量不断迅速增长的钢的另一种应用是钢筋，晚些时候则是高张力钢丝，用来给混凝土配筋——分别用于钢筋混凝土和预应力混凝土。在谈这个问题之前，先简要谈谈复合建筑结构的一种典型形式，即钢筋混凝土的薄板以机械“剪切连接”方式与承重钢梁结成整体。首次应用可能是在 20 世纪 30 年代的德国，但剪切连接所需的费用抵消了材料有效利用所带来的经济利益。因此，在建筑上的应用一直到 1950 年还很局限。

934

钢筋混凝土 钢筋混凝土是一种比单用钢材的适应性要强得多的结构材料。比方说，它不需要对重型轧钢厂进行巨额投资，而这种工厂又只能生产有限规格的标准型钢。原则上，只要能给出合适的模板，它就可以在很大的范围内生产出任意一种形状，而且只要改变混凝土配料、强度、数量及钢筋的分布状况，任何强度和刚度的要求都可以被满足。

在 19 世纪末钢筋混凝土发展的早期，应用中受到的限制主要源自对其性能缺乏基本的了解——既对混凝土缺乏了解，也对复合材料缺乏了解。在 20 世纪头 10 年，钢筋混凝土的应用仍受个人专有的经验性设计方式的支配，多半是将钢筋混凝土直接代替钢材，用于典型框架结构中的柱和梁。

随着了解的深入，混凝土的质量得到了改善（主要通过关注水和水泥的混合比例及其振捣情况），从而更易于设计出适宜而有效的构形。在后一方面，瑞士的马亚尔（Robert Maillart）的早期工作最为显著。他是在楼层系统中消除横梁的先驱之一。他倡导使用整块平板，钢筋沿两个方向铺设，并根据弯曲作用的变化在数量上进行变化。他

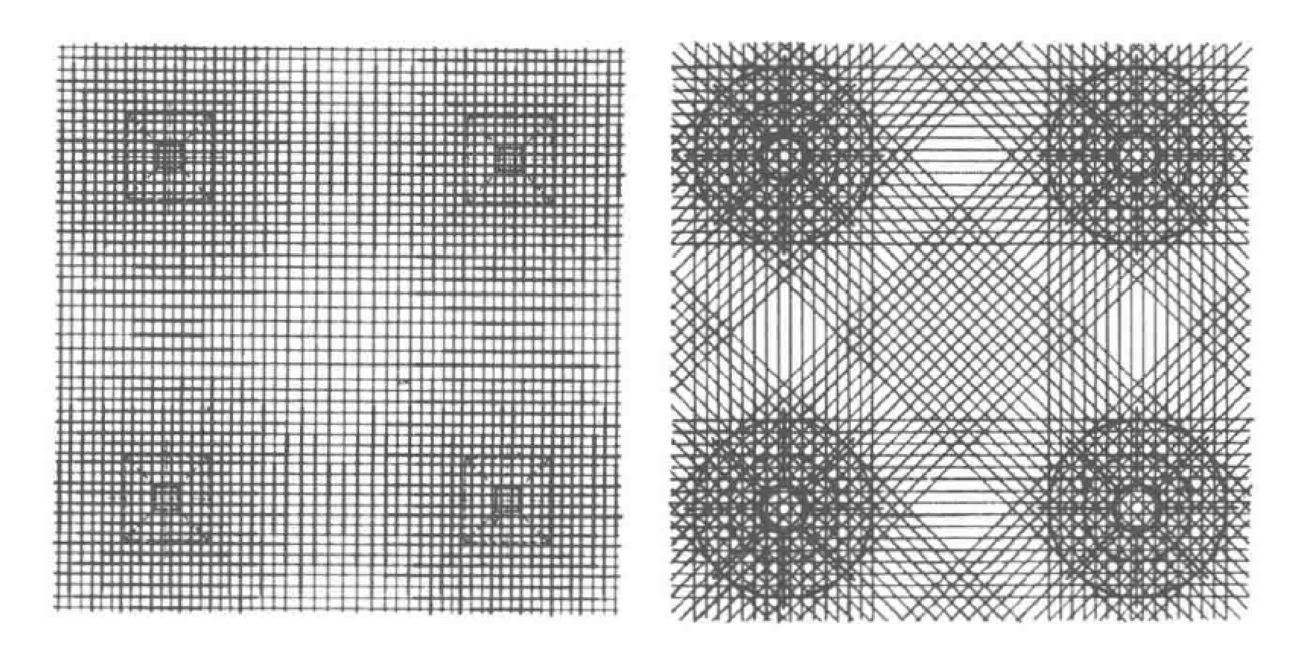


图 37.3 瑞士式（马亚尔式，左边）和美国式（特纳式，右边）蛛网型钢筋板系统的比较。

设计的柱头扩张为喇叭形，从而均匀地承受来自平板的垂直荷载。这种设计几乎可以与同时代发展起来的美式创新相媲美。在美式创新中，独立横梁体系的世系关系在钢筋分布中仍然很明显（图 37.3）[1]。但是应该看到，在我们所论述的整个时期，导致这种差别的部分原因在于欧洲人往往比美国人在经济地使用材料上更加努力。在美国，劳动力价格相对昂贵，以致人们将更多的注意力放在构形的简化上，以求减少建筑过程中对劳动力的需求量。随后的发展仍采用没有独立支柱情况下的连续承重墙，以及各种各样的薄壳结构。这些将在后面进一步涉及。这里可以简要地提一下另两项革新：轻型混凝土（二战后愈来愈多地被用于多层建筑）和意大利的内尔维（P. L. Nervi）发明的被称为“铁水泥”的特种钢筋混凝土，后者是由成层金属丝网加固的水泥砂浆构成的。

预应力混凝土 这里要讨论的预应力混凝土被认为具有重大的结构意义，且完全是在 20 世纪出现的一项革新，虽然预应力的原理早就被提出来了。它起码是在 1811 年被明确提出来的，而且有可能在更早时被用于螺套和楔块的连接件中，例如把烧过的铁箍嵌装在木轮

和木桶上。但是，对钢筋混凝土施加有效的预应力——使其持续保持受压状态以便形成最佳效果——只有在钢的强度大大高于原有低碳钢时才有可能实现。部分原因在于钢筋必须持续承受额外的应力，即使最大的荷载下也要使混凝土受力；另外部分原因在于开始时钢筋必须承受较大的应力，以便减小在预应力钢筋周围浇注混凝土后发生的应力损失，这种应力损失归因于混凝土在干燥、硬化并适应施加于其上的压力的过程中所出现的不可逆的收缩现象。尽管这种损失能够用混凝土硬化后拉伸钢筋的办法来减少，但并不能消除。

预应力混凝土的早期发展大部分应归功于弗雷西内，1928 年他在法国成功地应用了预应力原理[2]。二战前，这种思想传播到欧洲其他国家和美国；战后得到迅速发展——由于得到较多的理论指导，发展远比同时期的普通钢筋混凝土更迅猛，目标更明确。这一发展的大部分集中于创造出有效的装置来锚固受力状况下的钢筋。然而，桥梁和其他土木工程却不同，1950 年以前很少用预应力混凝土梁来取代普通钢筋混凝土梁或钢梁。相比之下，预应力梁在工厂预制时具有特殊的优点：其重量相对较轻，减少了运输及随后的建筑安装过程中的损坏率。

其他材料 在新的或相对新的材料使用的同时，大多数旧材料继续在使用，但制作方法或使用方式通常发生了很大变化。例如制砖方法的变化（第Ⅵ卷，第 25 章）使得砖的强度增大，这反过来又有助于减小墙的厚度，稍后我们还会谈到这一点。生产平板薄玻璃方法的改进（第Ⅵ卷，第 22 章）提高了它们的适用性，使得生产大尺寸板材成为可能。在木材方面，基本制作方法没发生什么变化，但连接方法却有重大改进。其一是机械剪力接合器的发展——主要是二战期间的美国，在木材利用中获得较大的经济利益，不过这却是以早期欧洲人的思路为基础。典型的接合器包括齿板或开口环，它们插入需要连接的两个物体之间，然后用穿过接合器的螺栓紧紧地拴接在一起。这使得

充分发挥木拉杆的抗拉强度第一次成为可能。再就是黏结力更强的黏结剂的推广和应用，它使得层压结构的复合板和复合构件应用的迅速增长成为可能，从简单的胶合板到大型的梁和拱［近期（指 20 世纪 70 年代］的某些拱与第Ⅴ卷图 24.5 中早期的拱很相似）。天花板和内部隔板用现在流行的石膏灰泥板逐渐取代了湿灰浆。

与之紧密相关的还有各种新型空心砖、为间壁墙和空心墙内壁而制成的轻型混凝土块、玻璃纤维绝热材料和各种合成建筑板。如果这些材料再加上当时已开始使用的铝材和一些新塑料，与 50 年前的先辈相比，1950 年的建筑师在选择材料时，简直是眼花缭乱。

建筑部件　与此同时，由于标准部件可用性的提高，建筑师可以简单地按产品目录来订购部件，这使建筑师的工作有幸得到一定程度的减轻。很长时间以来，建筑师能用这种方式订购铸铁部件和卫生间器具之类的部件。可是两次大战期间，特别是 1945 年以后，人们越来越有可能按照标准式样订购成品门窗，乃至整套的隔断和覆盖层。这部分体现了建筑过程工业化程度日益提高的总趋势。

37.2　施工方法

尽管在本书前几卷所述及的历史时期中，施工方法没有得到足够的重视，但它却始终强烈影响着设计。事实上，在结构理论发展到能够预计建筑物的大致性能之前，施工方法肯定比考虑最大稳定性产生的影响更直接。到 1900 年，在更大型和更新型的结构中，理论发展很快便改变了这种局面。但施工的可行性问题仍然是第二个需要考虑的重要因素。

存在着两种趋势，它们都可以追溯到 19 世纪。一种是建筑工地上机械装置和其他相关辅助设备的应用在增加；另一种是以前在建筑工地进行的操作业逐渐转移到工厂里。显然它们是一种向工业化迈进的趋势，不过所谓的业已形成的建筑“工业”与主要的制造工业相比

仍然有很大差别。建筑业部分地采用了制造业的组织形式。但在很大程度上，它仍是严格意义上的制造业产品在单个工地上的消费者和装配者。而且，由于少数大公司和绝大多数小企业并存，需求是多种多样的，所以建筑工业化的程度参差不齐，后者继续以过去的方式运作。

一个后来成为建筑发展经典的早期建筑物是 1850—1851 年建造的水晶宫（Crystal Palace）（第Ⅳ卷，第 15 章）。这座宏伟的建筑物仅仅用了 9 个月的时间就建起来了，主要是用工厂生产的铸件和其他部件干式装配而成。工地上，利用液压千斤顶对铸铁大梁和较长的锻铁桁架样品进行校验，并使用了其他辅助设备。然而，工件的挺举仍得靠马的拉力。在 19 世纪末期，蒸汽机普遍取代了马匹，并且大量地使用了机械吊车、起重机、挖掘机、打桩机及混凝土搅拌机。到 1895 年的欧洲，连手提式电钻都用上了。没有这些设备，要建造像瑞莱斯大厦这样的建筑物简直是不可能的。

20 世纪上半叶，这些机械辅助设备不断得到改进，在某些情况下是由于战时的需求刺激的结果。最重要的一项变革是柴油机取代了蒸汽机；小范围内又由汽油发动机和电动机代替了蒸汽机。这些变革主要发生在两次大战之间。新设备中特别值得一提的是可移动的混凝土搅拌机，它能够在施工现场供应搅拌好的混凝土，还有塔式升降架。前者于二战前由美国研制出来，战后才迅速推广应用；后者于 1937 年由法国研制出来，直到战争结束才开始使用，在 1952 年以前也只限于在欧洲大陆使用。

建筑工地上其他重要的革新有：1920 年采用的钢管脚手架代替了早期的绳索捆绑的木质脚手架；混凝土模板的各种改进；液压千斤顶的应用改善了施工过程中结构的内力分布状况。在施工现场，手工木模板的成本仅为钢筋混凝土总成本的一半。如果设计的结构允许重复使用，并且合理规划施工过程，设计成可重复使用的钢模板，就可以降低成本。一个可行性方案是：在浇铸过程中，每当所浇铸的混凝

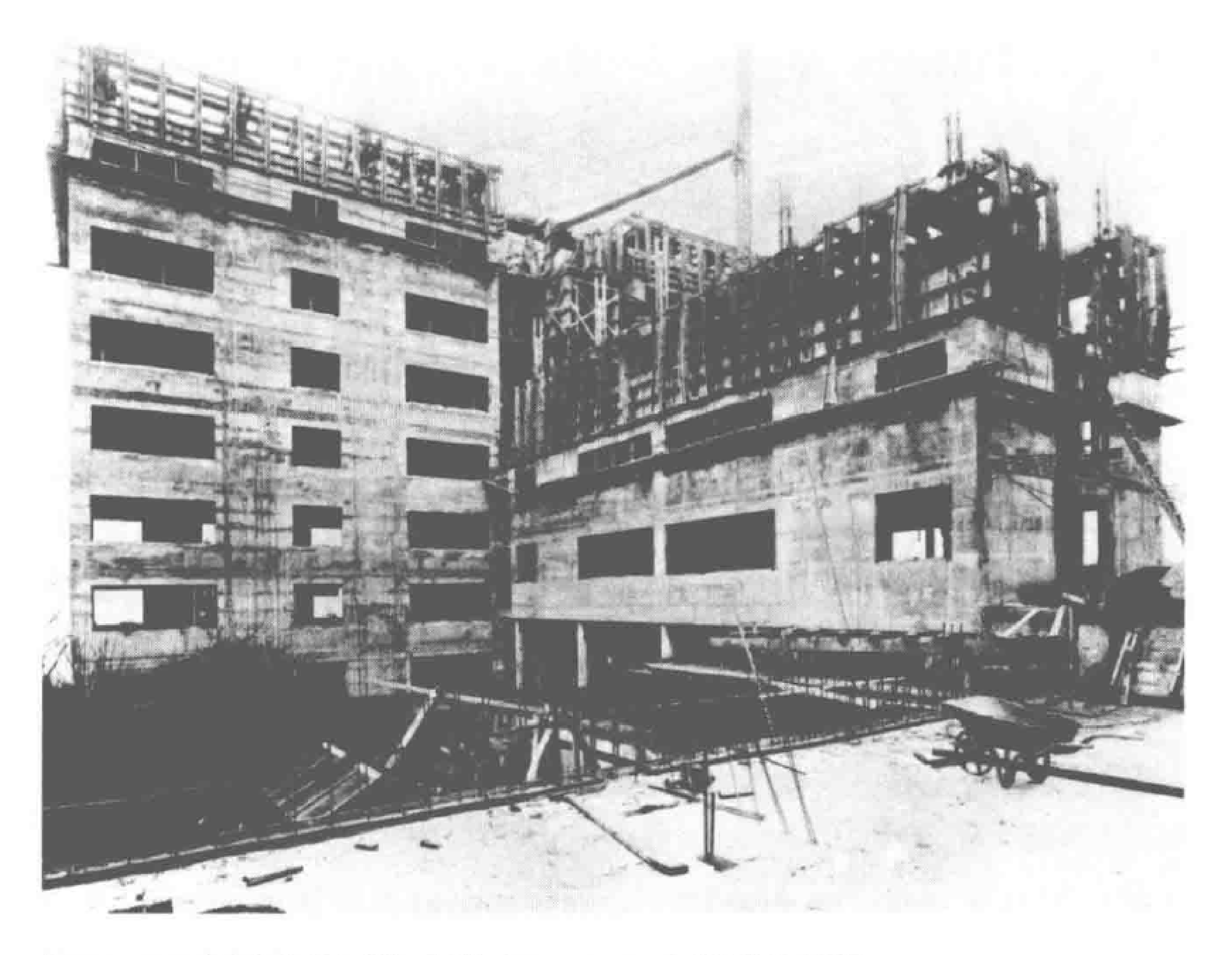


图 37.4　1934 年在伦敦建造“第一高楼”（Highpoint One）所用的滑动模板。

土充分凝固后，钢模板依次向上滑动，使之总处于一个新位置。图 37.4 阐明了英国早期的应用情况[3]。安置在这里的液压千斤顶的用途，自然是作为工地上增加预应力的工具。严格地说，它不是 20 世纪的发明，但是其完全可控的利用（包括预先对施加力的计算和应用过程中的精确测量）在很大程度上是预应力混凝土充分发展的一个方面，因为它通常用于把预制混凝土构件紧密地连接在一起，或给施工现场浇注的混凝土增加预应力。

939

由于钢筋混凝土是在 19 世纪下半叶出现的一项新发明，还由于在工厂里预制梁和支柱有明显的优点（包括安装以前检验可能发生的问题），所以这类构件的工厂预制早已实施。事实上，在工厂预制混凝土构件虽非必需，但它的浇铸方法与一个世纪以前工厂浇铸铁制

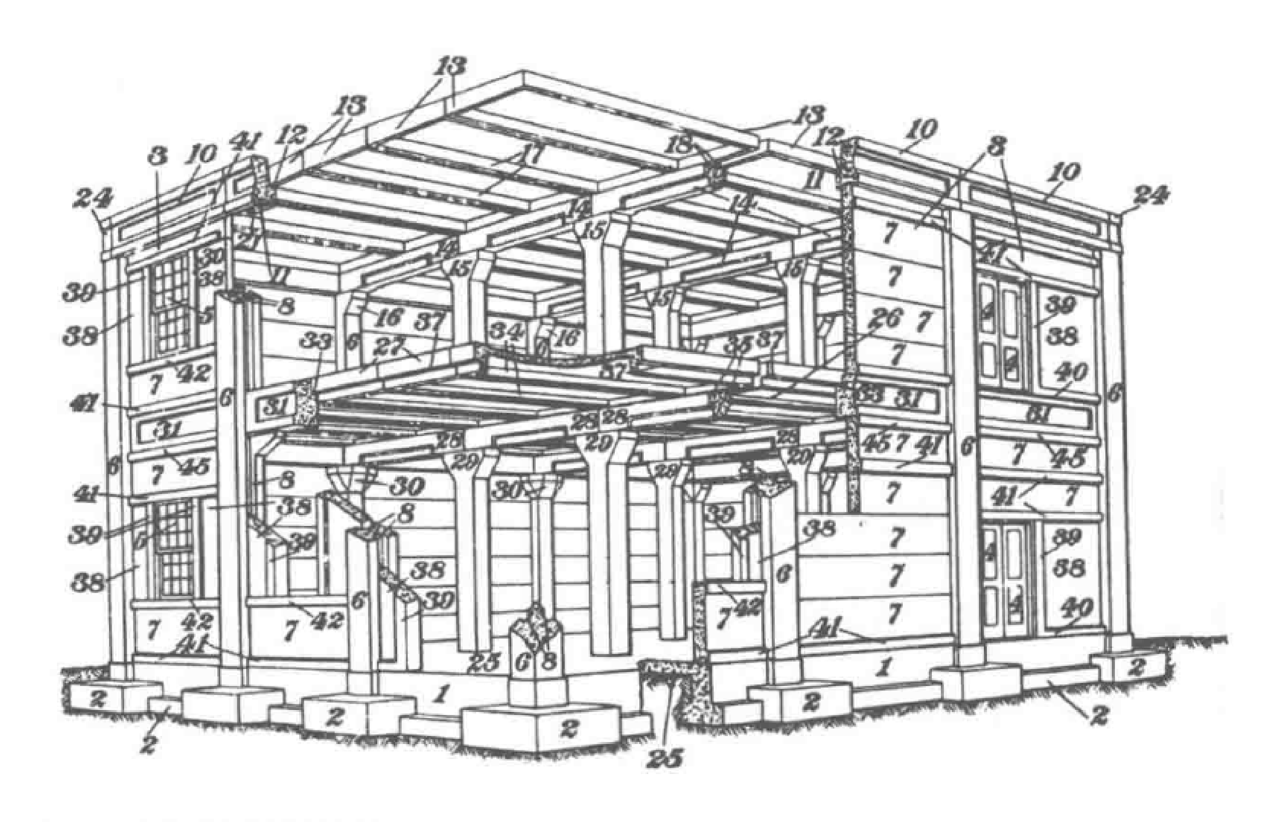


图 37.5　框架结构的预制混凝土“部件”系统；康策尔曼（Conzelman）的专利草图，绘于 1912 年。

品的方法非常接近。20 世纪初，预制结构的整套系统发展起来了[4]。图 37.5 是一种应用最广泛的美国系统的专利草图。

940

建筑过程的进一步工业化，即把作业转移到工厂中去进行，有着更复杂的背景。与现场作业相比，工厂作业有利于控制工艺过程和产品，还有利于发挥大规模生产的潜在经济效益，这促进了建筑过程的工业化；此外，两次大战所造成的特殊环境，也是一个刺激因素。在缺少传统材料和建筑工匠而工厂的生产能力富余且其他材料过剩的时期，这些因素均加快了施工速度。特别是在欧洲，两次大战导致了集中资助非传统的、以工厂为基地的施工方法的发展，甚至整个房子都是由工厂制造的，住宅和学校尤为突出。第一次世界大战以后，这方面的发展大多只是昙花一现。而第二次世界大战以后，它们大多建立在更仔细的需求分析的基础上，因此提供了更能接受的方法来替代传统的方法。此外，多方面的特定情况成为一般的准则，因而其中一些更具持久意义。包括战争一结束即在赫特福德郡建筑事务所[5]大

941

力协助下设计而成的、以轻型钢构架为基础的、高适应性的学校建筑体系，以及建造多层住宅的一些钢筋混凝土“大板”体系——它在1950年基本上还处于试验阶段。除了这些直接或间接由官方资助的发展项目外，还有由企业系统资助的隔板、外饰板等项目，我们已经作过一些介绍。

最后，这里应该提一下所谓的现场工厂。大型建筑物的构件不仅体积大而且往往很重，长距离运输很困难，费用也高。为了克服这一困难，在建筑工地预制混凝土的做法愈来愈普遍。一种仅仅适用于无梁平面楼板的特殊方法，就是在地面上一层又一层地直接浇制出所有的楼板，各层依次作为上一层的底层，然后用千斤顶把它们顶起，安放在支柱上。这种工序是美国于1948年提出的。显然，这样的工序设计需要严格的规范。大多数工业化的方法或多或少都有这样的要求。

37.3　维护设施和消防设备

本章开头已经提到，基本的维护设施及钢框架，使得19世纪末建造高层办公大楼成为可能。另一个重要维护设施是自动喷水装置，当一些原以为能防火的建筑物的高层发生难以控制的火灾，而仅有的“防火”结构显得远远不足时，人们才充分认识到安装自动喷水装置的必要性。20世纪上半叶，全封闭空气调节器是唯一新增的全新设备，它于1900年首次在巴黎博览会上展出，除此之外还有一些相对较小的如自动扶梯之类的设施。

然而，这只是故事的一半。早期的维护设施也有了根本性的改进，例如在1938年引进了荧光照明设施。最重要的是，相对建筑设计而言，维护设施通常更为重要。1950年，在有良好维护设施的建筑物中，维护设施的费用包括运行成本约占建筑物总成本的一半左右。因此可以说，维护设施与建筑结构、装修具有同等的重要性。从结构内


图 37.6 纽约利弗大楼，1952 年建成。

部的设置来说，维护设施提出了大量要求，典型的有：纵向的管道，以及便于水平布置而在悬挂的天花板和楼板之间留有的开阔空间，或者单独为维护设施设置的中间楼层。

942

20 世纪 40 年代，减少建筑物外墙的厚度，使它成为薄薄一层挡风避雨的隔板或无窗的固态外壳却仍能保持合意的室内环境，在技术上已是可行的。考虑到成本和瞭望外景的心理需要，这些极端做法通常是不能接受的。但是，在建筑物上应用连续的玻璃幕墙，已在很大程度上表现出建筑上的自由度，如 1950 年前后建造的联合国大厦和利弗大楼（图 37.6）。

在电力已经取代煤气和固体燃料成为能源的情况下，失火的危险性降低了。但电气故障也能成为失火的一个原因，维护设施的全面增加，其本身就可能加大火灾的危险，部分原因在于多路管道和天花板等上面的空间使得火势从一个房间向其他房间蔓延。严重的火灾不断发生，人们开始关注建筑结构和构成的保护以及居住者的安全，这显得更有必要去引入新的建筑材料和建筑形式。防火试验站产生于 19 世纪末 20 世纪初，后来数量日益增加。防火试验站在评价新材料和建筑形式的性能中发挥了极为重要的作用——特别是钢筋混凝土的性能，以及随后的预应力混凝土、大批新的人造建筑板和其他合成材料，还有代替 20 世纪早期用于钢结构上的重型防护材料的轻质材

943

料等。混凝土不能燃烧，并且是相当好的绝缘材料。钢筋混凝土的性能通常也很好，钢筋外面覆盖适当的混凝土，覆盖物有足够的钢丝捆扎，以防表面温度上升时发生开裂剥落。对预应力混凝土来说，保证在钢筋受热后应力不会过早损失也很有必要。到20世纪30年代初，尤其在美国，已经在典型的配备家具的房间里进行了大量防止火势蔓延的试验。这使建筑构件试验步骤标准化成为可能，并且规定了性能的标准等级。1932年英国颁布了英国标准（BS476）。与建筑构件性能的界定相对应，英国标准也对不同居住环境中遭受的火灾情况划分了级别。

然而，正如前面所言，人们已经认识到仅仅在结构上防火是不够的，不管何种建筑形式都是如此。为了居住者的安全，如果不考虑其他情形，限制火势特别是烟的蔓延是非常重要的。直到1950年，消防还主要基于从实际发生的火灾中得到的教训，尽管在二战期间进行了一些试验性的工作。指导性原则是将大型建筑物分隔成若干防火的间隔区，各部分之间的过道设防火门，并设置救生楼梯以便逃出。同时，防火设备应尽可能接近火源。防火设备的安置范围既取决于对严重火灾危害程度及可能后果的估计，又取决于外部消防设备的可用性和可接近性。自动喷水装置就是一种解决办法。在不适宜使用自动喷水装置的地方，通常的替代物是19世纪末采用的永久性储水管装置或出水管，以及软管接头或水龙带卷筒。窗户尺寸的增加以及轻覆盖层的广泛应用，一般也需要新的手段来限制火势从一层到另一层、从一幢建筑物向另一幢建筑物蔓延的危险。例如，在利弗大楼中，连续玻璃外墙上下各楼板靠一个高0.75米的矿渣砖墙固定，砖墙外表面涂有灰浆，而内表面有绝缘层。这些墙在图37.6中呈现出黑色的条带。

944

37.4 理论和设计

19 世纪，对当时使用的基本结构形式进行理论分析所需的重要基础已经发展得很完备了。特别要提及的是，静定框架的图解分析方法——构件的数目恰好使框架平衡——的发展，以及为具有额外构件或与此类构件等价的刚性结点的更复杂的框架开发了代数分析方法。弹性的基础理论也开始应用于钢筋混凝土构件。绝大多数这样的工作，是由个别有才干的教师和工程技术人员在极其有限的实验设备下完成的。与此相比，在建筑设计的非结构方面，实际上没有做什么理论工作。

20 世纪上半叶有两件事格外引人瞩目。一是那时开始从科学的观点关注设计的非结构方面，随着传统建筑形式和环境控制让位于新的形式，设计的非结构方面的重要性在增加；二是有计划的实验工作及相关试验设备的作用大大增强。这些实验设备一部分由扩编或新组建的大学各系提供，一部分由前面已提到的防火试验站那样的专门试验站或实验室提供。更重要的是，一些新建的研究所全面投入建筑技术各领域的研究中。1920 年建立的英国建筑研究所[6]就是其中的一个范例。

尽管诸如照明、供暖、通风和声学等课题引起了人们的关注，其发展依然落后于结构理论。到 1950 年，已有可能为这些领域的大多数基本设计制定定量的以实验为基础的规范，而实验数据和预测方法——后者通常假定是稳定状态——已能用来帮助满足规范的要求。

945

值得注意的一项声学设计的应用，是 1950—1951 年伦敦皇家节日厅的设计[7]。它牵涉到大量的现场测量和试验。

在结构领域，有关材料性能特别是混凝土的性能，梁、柱、板和墙等简单构件在荷载情况下的状态，以及框架结构、框架连接乃至整座建筑物在荷载下的状态，获得了大量的实验数据。这些数据大多是在实验室中通过设计一系列全尺寸实物试验而获得的。但是，在对整

座建筑物进行试验时，愈来愈多地使用了模型。有两个系列的试验值得注意：一个是1910—1917年由伊利诺伊大学的塔尔博特（A. N. Talbot）和斯莱特（W. A. Slater）对早期的钢筋混凝土建筑物进行的试验[8]；另一个是1930—1935年由英国的钢结构研究委员会对钢构架建筑物进行的试验[9]。

试验和试验数据的价值，随着仪器仪表特别是应变测量仪（依靠其数据可计算内应力）的发展而逐步提高。振动应变仪是20世纪30年代初期由德国人研制出来的，而更小巧的电阻应变仪是20世纪30年代末由美国人研制的。理论和分析方法的发展——能够指导试验计划并有助于理解和广泛运用数据，也使仪器仪表得到了根本提高。新的进展如此众多，这里只能扼要地介绍几项最精彩的成就。

钢筋混凝土的应用可大致分为两个阶段，尽管界限不是太清晰。第一阶段，注意力限定在弹性特征上——或者，更确切地说，是线性弹性特性。这种特性遵守胡克定律，即应力和应变始终是成正比的。在这方面，最重要的进展是1930年由克罗斯（Hardy Cross）提出的分析刚性框架的逐步逼近法[10]。这种“力矩分配”法从所有的结点是固定的（即不能转动）这个前提出发，从而使每个梁端弯矩变成静定的，但通常结点弯矩是不平衡的。逐步逼近法包括放松结点和不平衡弯矩的再分配，直到不平衡小到可以忽略不计为止。后来，索思韦尔（R. V. Southwell）对其进行了总结[11]。20世纪20年代及以后，关于平板全方向的弯曲分析，以及有关薄壳和下面要讨论的其他新形式的分析，都得到了巨大发展。

946

钢筋混凝土发展的第二个阶段，注意力部分地转移到结构和构件在接近破坏点和达到强度极限时的特性上，在基本设计大部分还停留在经验时期，这些已成为关注的主题。此过程始于第二次世界大战前，但直到1950年以后才结出丰硕的成果。原则上，“破坏”或“极限强度”的分析法有很大的吸引力，因为它克服了在不依靠逐步逼近

法的情况下对超静定结构的弹性分析进行精确计算的困难。之所以如此，是考虑到在“破坏”状态中足够的结构截面实质上起到了铰接作用，使所有的弯矩成为静定的。然而，实际上，这种方法要求实际铰接的转动量和结构到达破坏点以前的刚度有一定假设。因此，它最初的直接应用只限于平板和单层框架。1943 年，丹麦的约翰森（K. W. Johansen）发表了关于钢筋混凝土板的“屈服线”理论[12]。与此相对应而提出的关于刚性联结框架的理论，英国称“塑性”设计，美国则称“极限”设计[13]。这种理论研究大多针对钢框架，但美国的研究工作也涉及了钢筋混凝土框架。

最后要提一下土力学这门新学科以及 1950 年左右涌现出来的结构理论的两个新分支。土力学主要是 20 世纪 20 年代由泰尔扎吉（Karl Terzaghi）创立的，他试图把地基的设计工作置于与上层结构相似的理论基础上[14]。至于两个新分支，一个是把动力学应用于震动、地震和风压荷载产生的结构响应问题上；另一个是关于结构可靠性的概率理论——与此相应的理论早已用在飞机的设计中了[15]。

理论上的这些发展对于结构设计的影响程度差别很大，尽管经过改进的分析方法应用的延迟平均来说可能要比 19 世纪下半叶少一些，这是设计者的受教育水平普遍提高的结果。最快投入应用的——如早期的框架设计——其形式和要求是全新的，并且没有现成的既省力又省时的系统化规程可依赖。延迟时间最长的——如钢构架的设计——已积累了很多实践经验，现成的程序比新方法更简洁明了，而后者既无建筑成本上的优势，又没明显地增加安全性。例如，在英国，1950 年钢结构设计几乎没什么改变，仍然遵循由钢结构研究委员会制定的标准（BS449）。该标准未涉及节点的刚性问题，尽管钢结构研究委员会通过试验提供了刚性联结的部分资料，也有关于修正设计规程的提议，以及后来有塑性理论的发展。

947

事实上，在 BS449 中已编入大量的条文，特别是像英国这样的

国家，是十分重视公共安全的，并试图通过设计规程而不是将责任直接由设计者承担的办法来保证安全。当然，该标准部分是以测量结构所承受的荷载为根据的。表面上，规定了荷载效应（通常依据应力和挠度）的安全水平，并且给出了计算方法。实际上，简化和理想化步骤的采用，使计算出来的载荷效果大多是不真实的。之所以还能得出安全的结构，很大程度上要归功于两件事情——简化过程中很多结构的强度和刚度被忽略了（多层框架结构中的墙和楼板尤为明显），以及应力极限通常要比假定的临界点小得多。在最后的分析中，规范仅为在实践中已得到证实的结构形式的具体比例提供了安全规章。这些规章比过去为类似目的而使用的"经验法则"更合理、更有效。但是，因为极大地依赖于实践经验，却没有给出有效限度的任何线索，所以 1950 年以来，它们不得不逐渐由新一代更现实的（必然是更复杂的）规范所取代，尤其是根据上面所提到的新概率理论定出的较合理的规范。

37.5 新的结构形式

尽管理论认识不断发展，并且有丰富的实验新数据，但从根本上进行革新仍然是危险的，毕竟认识还不完善。因此，结构形式的发展大多是以缓慢进化的方式不断发生的。大多数建筑物还一直使用承重墙或柱子和梁的框架。随着理解的深入，这些形式趋向于更有效、更轻巧；出于经济的整体考虑，也趋向于施工的简化，趋向于减少构件尺寸和形状非本质的变化，因为这些变化不利于效率最大化和轻型化。三种新类型的结构形式出现了：薄壳、拉力屋顶和空间构架。这些结构形式不仅利用了新材料，而且也利用了关于三维结构机能的最新知识。另外还有一种关于地基设计的新发展，它超过了现有形式的改进，使用了新材料。 948

承重墙结构 从 20 世纪 30 年代中期开始，由于放弃了确定尺寸

比例的经验法则而采用了更合理的设计，承重墙在高层建筑物中获得了新的生命。它用在由于其他原因而要求墙的间距比较小且每层都有重复的地方（如多层住宅中），并且通常使用无梁的钢筋混凝土楼板。起初，墙一般是钢筋混凝土的，后来也用砖砌。人们还发现，在低层建筑物中只使用横墙（从后往前）承担荷载是可能的。由于施工技术（图 37.4）的发展和对薄壁墙结构性能认识的提高，以及由于不增加厚度而仅改变混凝土、砖和砂浆的强度就可能使下部楼层获得更大强度，发展承重墙是合理的、有吸引力的。

柱梁框架及相关结构　利弗大楼和瑞莱斯大厦一样，有一个钢柱梁框架。将图 37.1 和图 37.6 进行比较，看不出短短 50 年时间里两幢建筑物有何巨大变化。框架的基本形式实际上是相类似的。然而，这段时期发生了 3 个具有代表性的变化。19 世纪 90 年代，几乎毫无例外地使用的空心砖楼面让位于钢筋混凝土板。过去，柱和梁是将若干小截面钢铆接在一起形成复杂的复合截面，现在则让位于简单的工字型和 H 断面型钢的简洁焊接。同时，与之相对应的是整体形式明显简化，这是为了满足建筑师的意图，在设计中要着重考虑整体形式，而不是只考虑个别构件的细节。在高层建筑中，柱子被置于完全对称的位置上，竖向服务设施（包括电梯）集中在一两个地方，通常是在坚硬的钢筋混凝土墙围成的“核心区域”。在利弗大楼，核心区位于后部。在建筑过程的中间阶段，部分地借助较重的内墙和外墙（据估计，帝国大厦的比例为 350%[16]），侧向刚度（在风荷载情况下）常常大大超过构架本身所提供的刚度。后来，轻的围护形式就失去了这方面的优点，但服务核心区内在的刚度却弥补了这方面的一些损失。

949

在单层建筑物及其他比较低的建筑物中，侧向刚度变得不重要了。通常假定当框架具有围护层时，特别是它有刚性节点时，不用特殊的措施也足以满足要求。长的跨度需要比较重的梁，这时建筑框架的发展在许多方面与高层框架几乎相同（图 37.2）。除了 1950 年前后，由



图 37.7 赫特福德的摩根路小学，建于 1949 年。

于在设计中应用了塑性理论，它有可能实现一些新的节约措施。在跨度短、荷载轻的情况下，采用了较轻型的框架。对此，冷轧型材是十分合适的材料。轻型框架一般采用预制混凝土板或预制轻型面板；当面板提供的刚度不足时，可使用对角拉条。这些轻型框架在 1932—1937 年间，首次被应用于法国的多层住宅建设，后来又在英国应用（如著名的 Mopin 系统）；1946 年以后，在英国更普遍地应用于学校建筑[17]（图 37.7）。

早期的高层钢筋混凝土框架与带有钢筋混凝土楼板的钢框架很相似。辛辛那提市建于 1902—1903 年的 16 层高的英戈尔斯大厦，就是一个显著的例子[18]。然而，人们认识到：只要适当地增强楼板，就可以省去横梁，采用无梁楼板 。这种认识使得几年内便采用了仅由柱子和平板构成的框架系统。柱子顶端扩张成喇叭形与楼板相接，这种形式在 20 世纪 30 年代被广泛地用于工业和商业建筑物，这种建筑物需要大面积的无阻碍楼面（图 37.8）。二战后，这种张开式的柱头被淘汰了，有时用钢柱代替，用于跨度较小、荷载较轻的建筑物。这

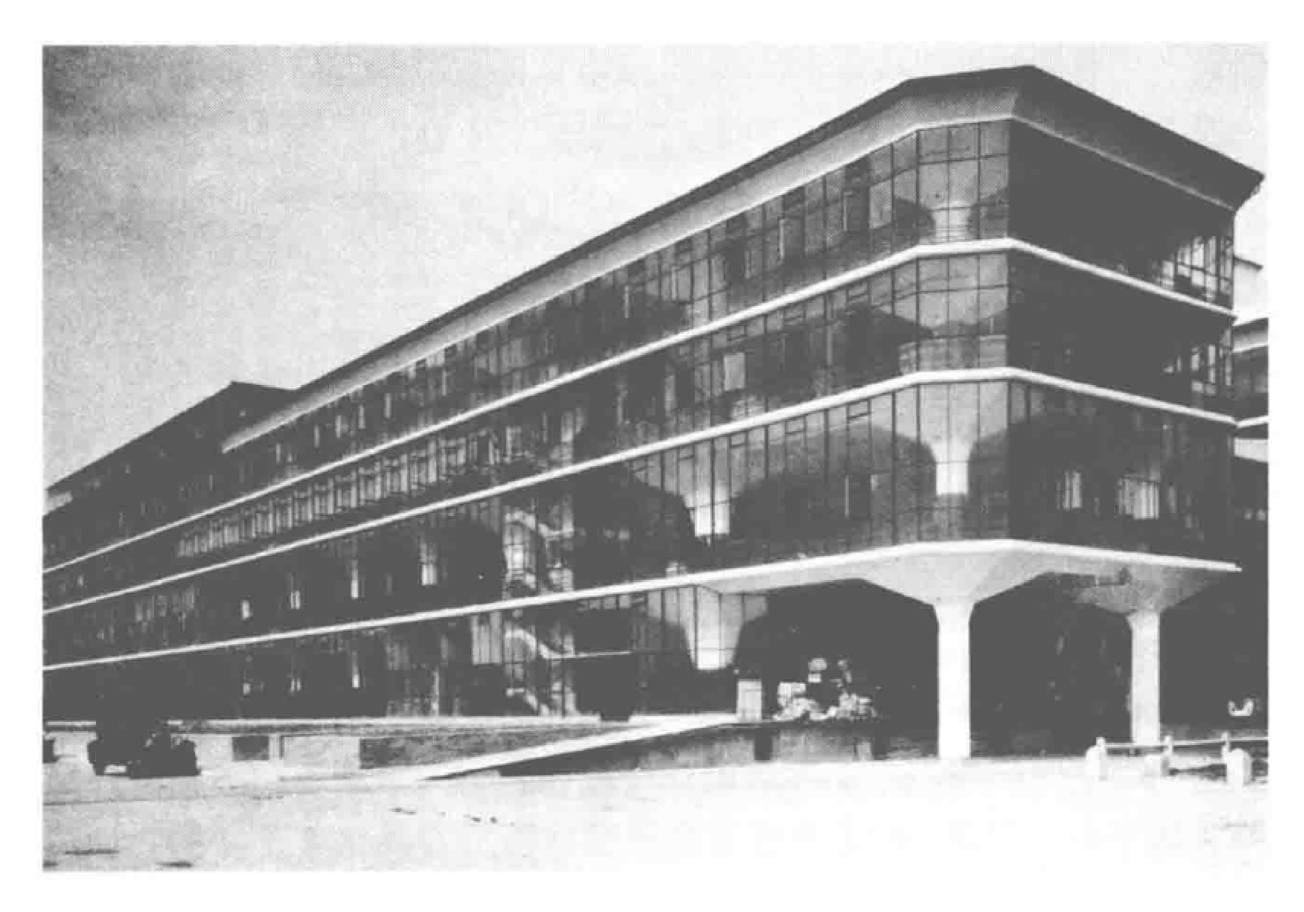


图 37.8 诺丁汉郡比斯顿的靴子工厂，于 1932 年落成。

种框架形式，使得楼板可在地面上叠层浇注，随后被顶升到柱子中。

地基 19 世纪后期，在可以采用的地基方式——打桩、扩大的底脚、格排基、筏形基等之外，又增加了一种浮力地基。在结构上，它只是一个很深的地下室，坚固的底板和边墙足以承受四周土壤的内向压力。例如，一座高层建筑用别的办法可能需要很深的桩，用浮力地基则不需要这样。它移去了相当于结构总重量的土方，从而几乎全部减去了由于建筑物存在而施加于下层的垂直压力。

951

薄壳 拱形屋顶的建筑物不断出现，在使用钢拱和木拱的同时也使用钢筋混凝土拱。然而，简单的拱圈作用要求随着跨度的变化而增加相当大的厚度，以适应不同的荷载并避免弯折。内尔维在 20 世纪 40 年代克服了这一困难，他用轻型预制混凝土型材装配成一些非常漂亮的拱形和圆形屋顶，并使用向下的肋条或把全部表面做成波纹形来满足必需的厚度要求[19]。薄壳作用则以另一种方式来克服这一

困难：把荷载分配到连续面的各个方向上去。如果圆屋顶是一个双曲面，它的厚度除了接近边缘的地方较大外，大约可以减少到拱厚度的1/10。根据几何形状和荷载分布的要求，把荷载分配给拉应力和压应力，并且在拉应力提高时不会出现过度的变形，这就是薄壳的建造原理。钢筋混凝土满足第一个要求，预应力则满足第二个要求。

1923—1924 年，在耶拿建成了第一个钢筋混凝土薄壳的拱顶。不过，在 1909 年，纽约的基督教圣约翰大教堂的十字交叉处已经有了拱顶，它比多层平面瓦建造的拱顶的平均厚度稍大一些，但基部加强部位的厚度相似。托罗哈（E. Torroja）设计的阿尔赫西拉斯的市场大厅（图 37.9）颇为扁平的圆顶上是第一次在基底部分的环形箍（嵌入在水平混凝土带中）施加必要的预应力以控制变形的圆层顶[20]。到 20 世纪 30 年代中期，已着手建造部分圆柱形的薄壳、马鞍形的薄壳（双曲抛物面），以及比较自由地确定的双曲线形的薄壳。还可以加上褶皱板的屋顶，不过这种屋顶难以明确归类，而且严格地说也不是薄壳，因为它所有的弯曲部分都集中在褶皱上，而褶皱之间的平面部

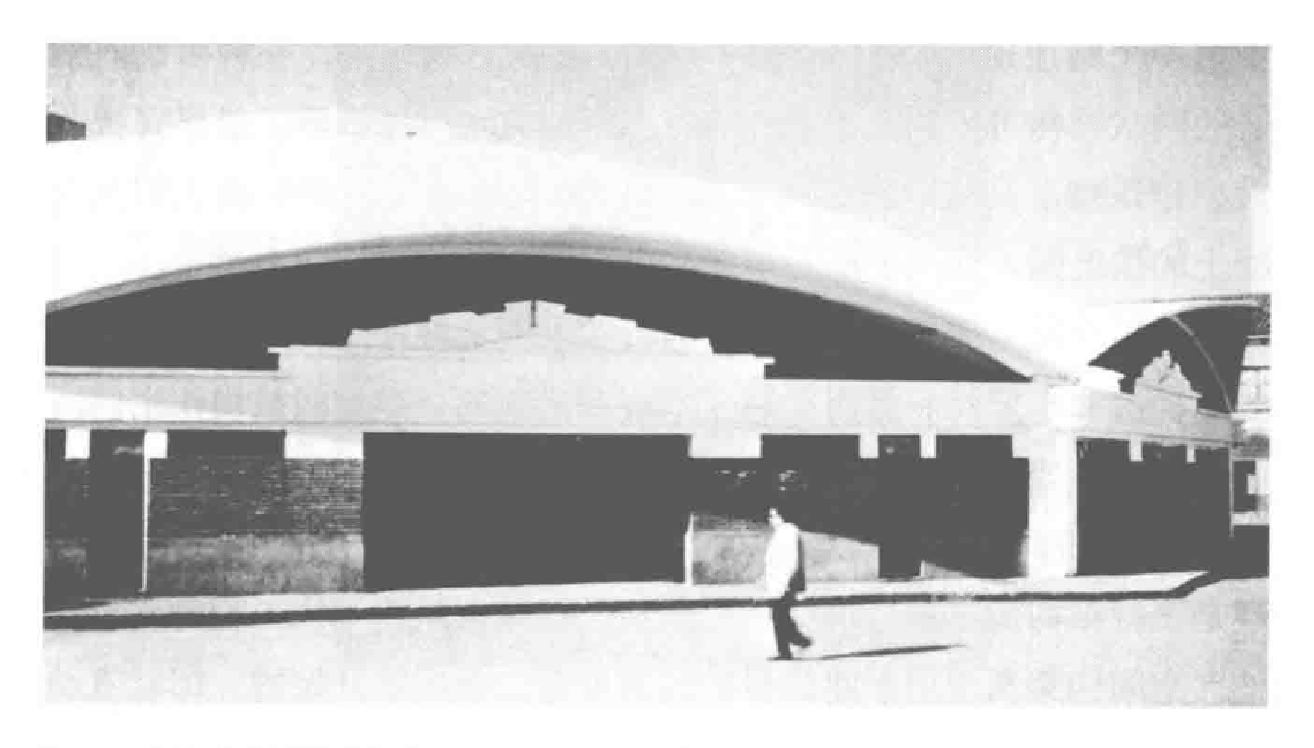


图 37.9　阿尔赫西拉斯的市场大厅，建于 1933 年。

分可供弯曲。

拉应力屋顶 薄壳的作用力主要是压应力，拱形的曲面是其采用的主要形式。这些形式的变换形成第二种类型的能以拉应力为基本作用形式的力。第二种类型的预应力具有很大优点，可以自始至终地保持拉应力。这样，即使将结构简化成薄膜状也无危险，例如不会在风中四处拍动。碟形结构中，预应力可以靠增加静负荷来实现；在马鞍形结构中，则依靠沿着拱形曲面方向边缘的拉力来实现；也可以运用拱顶或其他连续的拱的形式，依靠静负荷——一种内压力——的转换来实现预应力。还有两种可能性，早已分别在帐篷和气球中得到开发应用。进一步在建筑物上开发它们的可能性，来自抗拉应力很强的材料的发展，以及预应力技术与能够保持内部压力的扇状结构的发展。

对于膨胀型结构来说，一块连续的薄膜当然是基本的；但对于大跨度来说，多数拉力能够靠悬吊在上面的钢丝或钢索来承担。在1917年和1919年，兰彻斯特（F. W. Lanchester）在英国取得专利，后来计划设计的圆屋顶跨度达到650多米；直到1950年，美国才建造了第一个圆顶建筑（很小型的）。至于其他结构形式，一种由钢丝构造的网状结构可以用来承载所有的荷载。图37.10显示了最早完成的大型建筑物：马鞍形的拱顶设计于1950年，悬吊在两个斜式钢筋混凝土的拱之间，这两个拱的重量有助于给钢丝施加预应力[21]。

空间构架 与拱相类似，平面桁架不断地被使用，并且通过不同的途径进一步发展。然而在利用平板和薄壳的三维空间结构作用的同时，三维桁架及其相关形式相应地也发展起来，统称为空间构架。贝尔（Alexander Graham Bell）是20世纪初的一位先驱，但他的主要兴趣是飞行结构而不是建筑结构，航空工程师大概比结构工程师更了解他。空间构架真正用于建筑目的的发展是二战后才开始的，那时富勒（Buckminster Fuller）等人采用了贝尔式的外壳。在1950年前后，像

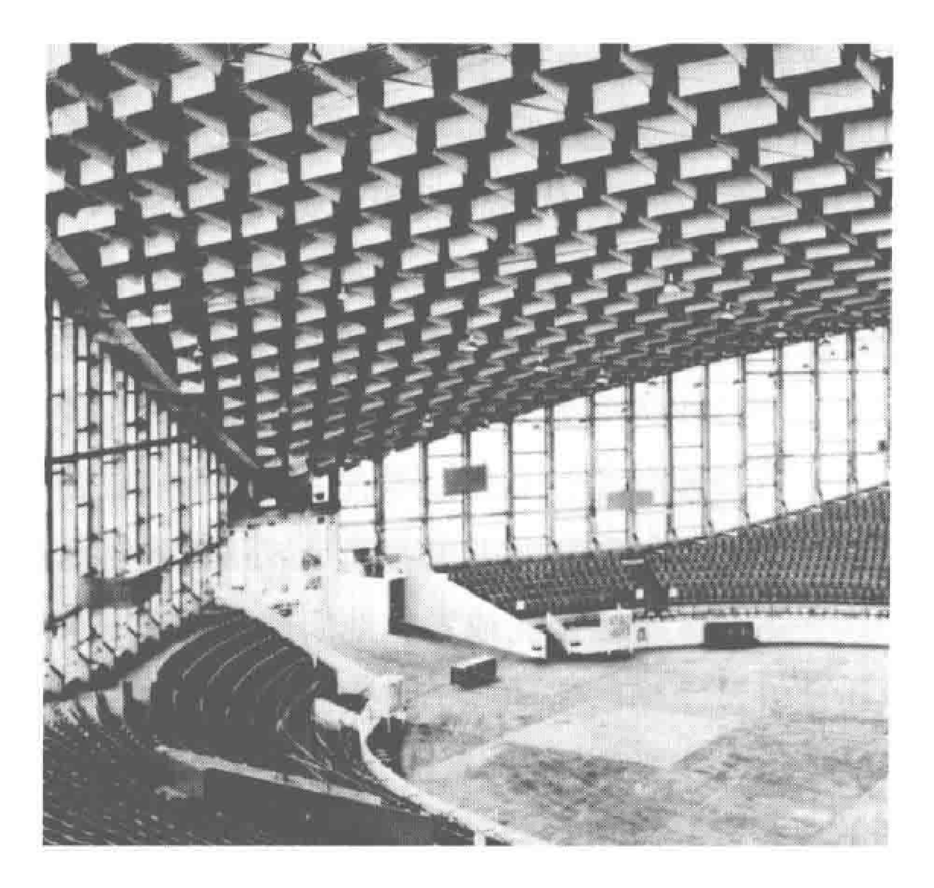


图 37.10 北卡罗来纳州罗利的多顿竞技场，建成于 1953 年。

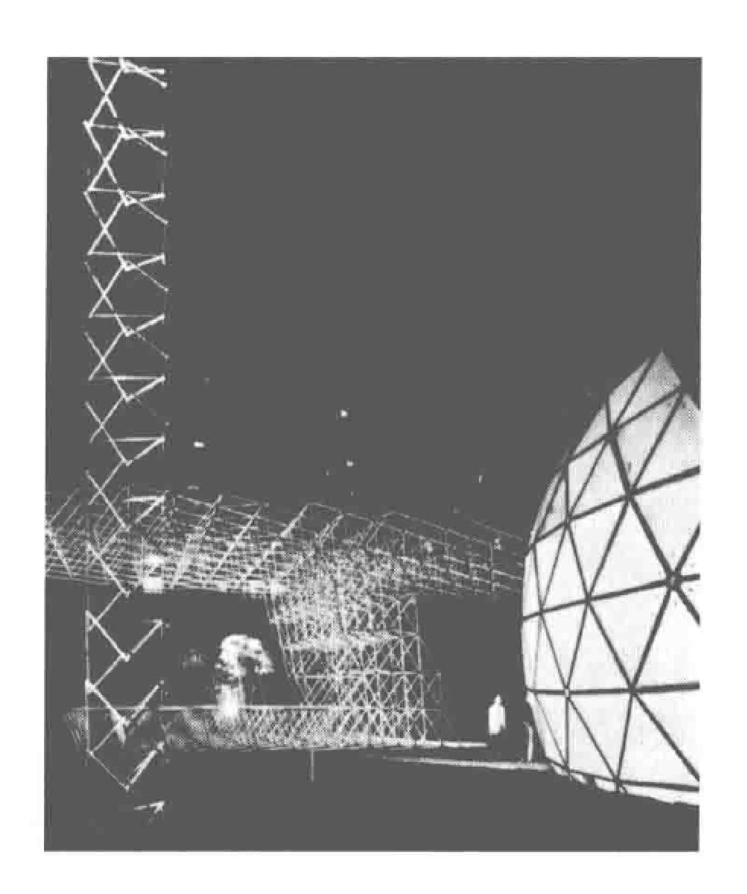


图 37.11 1959 年陈列在纽约现代艺术博物馆的一个网格球顶和其他结构。

图 37.11 中所显现的结构潜力正在被利用。要实实在在地建成一座建筑物（例如具备网格球顶及其后面的双重栅条），主要有待于计算机的计算能力（帮助进行分析）和业主自愿的赞助[22]。

37.6 建筑学上的理想、目标和成就

建筑革新，往往花费很大，至少在开始时是这样。事实上，正规的习惯做法通常是最便宜的。因此，愿意采用革新措施的业主，总是起着主要的作用。业主们有新的需求要满足或认识到自己处于新的形势，才有热情去采用革新措施。或者，他们被新事物中某些东西所吸引并相信其价值，乃至深信它是合乎时代潮流的，便觉得非采用这个新事物不可。

本时期的业主可分为两大类：私人的和公共的。前者包括所有的工业和商业团体，他们在经营上进行再投资；后者包括所有的政府团体及类似的机构，他们花公众的钱财来兴建公共福利事业。一般来说，1939 年以前，私人业主更重要一些，他们继续起着与 19 世纪时相似的作用，尤其是对于结构形式的发展（如钢筋混凝土楼层板，图 37.3 和图 37.7）[23]、服务设施和轻型包壳的倡导。新需求是一种重要的刺激。然而人们有时感觉到，追求与众不同的新事物的欲望也是一种刺激。二战结束后的几年里，公共业主相对更重要些，至少在欧洲是这样。即使在美国，富勒的网格球顶的第一位主顾是福特公司，第二位主顾就是海军陆战队。在欧洲，住宅和教育是最优先考虑的事，一个主要的刺激是要求在缺乏熟练劳动力和一些传统材料的情况下能够快速建造，这种需要部分是出于政治原因。尽管大量的建筑项目处于中央的控制之下，对革新的投资能力只能达到这些项目所允许的规模，然而还是朝着建造过程的工业化迈出了几大步。同时，这些项目的社会目的在一些情况下，特别是在英国的学校建筑项目中，导致了对建筑规格的重新评估和对更适宜的新设计概念的探寻。

这里出现了一些根深蒂固的理念。新的设计概念总是随着新的或变化了的需要而出现，但往往是以缓慢进化的形式出现。重新评估是新设计的直接基础。20 世纪 20 年代以来，勒科比西耶（Le Corbusier）和格罗皮乌斯（Gropius）等建筑师培育了这样一个理念：新的设计概念是必要的，还有一个进一步的理念（尽管没有清晰地表达出来）：新的建筑学有助于建立一个更美好的世界。这种信念，勒科比西耶是借助其著作[24]，格罗皮乌斯则是通过他的设计学校——德国的包豪斯学校（Bauhaus）（图 37.12）和集合在他周围的教师[25]来培育的。在 20 世纪 20 年代，他们组成了宣扬新建筑学的先锋队，而新建筑学后来以现代建筑学为人所知。在 20 世纪 40 年代，新一代人吸收了他们的思想并渴望服务社会，试图更广泛地实践这些思想。

两次世界大战期间出现的早期现代建筑学还有两个特征，对此我们必须谈谈。一个是明确地把充分利用新技术定为目标——解决本章引言中所提到的第一个对比，并可与汽车和飞机设计师的成就相媲美。最初这一成就无法满足这个目标，但无关紧要；从长远的观点来看，更重要的是这样可能逐渐造成一种新共生现象，就像早期罗马帝



图 37.12　德绍市的包豪斯学校，建于 1925—1926 年。

国和13世纪的法国那样。另一个特征是尽管不大被强调但却非常真实地存在的与当代视觉艺术的相互作用。勒科比西耶本人不但是建筑学家，而且还是画家和雕塑家，他曾把建筑学定义为“在光线照射下集合在一起的体积的精巧、正确和壮丽动人的表演”。包豪斯是一所设计学校，不仅有建筑学，而且教师中有当时一流的抽象画家和雕塑家。这种相互作用使建筑行业具有坚实的新风格，这正是技术自身所难以提供的。这就要求结构工程师来实现相互贯通空间和最小支持下的悬空平面的视觉感，也为20世纪50年代的新三维空间构架理论的传播铺平了道路。

956 上半世纪在充满希望的氛围中结束。只是到了后来，因为某些原因，才出现了理想的破灭。

相关文献

[1] Maillart, R. *Schweizerische Bauzeitung*, **87**, 263–265, 1926.

[2] Freyssinet, E. *Journal of the Institution of Civil Engineers.* **33**, 331–380, 1950.

[3] *Architects Journal*, **81**, 113–119, 1935.

[4] Peterson, J. L. *Journal of the American Concrete Institute*, **25**, 477–496, 1954.

[5] *Architects' Journal*, **110**, 431–440, 1949. Davies, R. L., and Weeks, J. R. *Architectural Review, London*, **111**, 366–387, 1952.

[6] Lea, F. M. *Science and buiding. A history if the Building Research Station.* H.M.S.O., London. 1971.

[7] Allen, W. A., and Parkin, P. H. *Architectural Review, London*, **109**, 377–384, 1951.

[8] Talbot, A. N., and Slater, W. A. *Bulletin. Illinois University Engineering Experiment Station*, 64, 1913, and 84, 1916.

[9] Steel Structures Research Committee, *Second report*, and *Third report*, H. M. S. O., London. 1934 and 1936.

[10] Cross, H. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **96**, 1–10, 1932.

[11] Southwell, R. V. *Relaxation methods in engineering science.* Oxford University Press, London. 1940.

[12] Johansen, K. W. *Publications of the International Association for Bridge and Stuctural Engineering*, **1**, 277–296, 1932.
——. *Brudlinietorier.* Thesis. 1943 ; Teknisk Forlag, Copenhagen. 1952.

[13] Whitney, C. S. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **107**, 251–282, 1942.
Baker, J. F. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, **31**, 188–224, 1949.
Greenberg, H. J., and Prager, W. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **117**, 447–458, 1952.

[14] Terzaghi, K. *Erdbaumechanik.* Franz Deuticke, Vienna. 1925.
——. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **93**, 270–301, 1929.

[15] Freudenthal, A. M. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **112**, 125–159, 1947 and **113**, 269–287, 1948.

[16] Rathbun, J. C. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **105**, 1–41, 1940.

[17] *Architect and Building News*, **141**, 230–233, 1935.
Journal of the Royal Institute of British Architects, **44**, 765–778, 1937.

[18] Condit, C. W. *Technology and Culture*, **9**, 1–33, 1968.

[19] Nervi, P. L. *Structures.* F. W. Dodge, New York. 1956.

[20] Torroja, E. *The structures of Eduardo Torroja.* F. W. Dodge, New York. 1958.

[21] *Architectural Forum*, **97**, 134–139, 1952 and **98**, 170–171, 1953.

[22] *Architectural Forum*, **95**, 144–151, 1951.
Marks, R. W. *The dymaxion world of Buckminster Fuller.* Reinbold, New York. 1960.

[23] *Architects' Journal*, **76**, 125–136, 1932.

[24] Le Corbusier. *Towards a new architecture.* Architectural Press, London. 1927.

[25] Gropius, W. *The new architecture and the Bauhaus.* Faber and Faber, London. 1935.
Grote, L. *et al.* 50 *years Bauhaus.* Royal Academy of Arts exhibition catalogue, London. 1968.

参考书目

Banham, R. *Theory and design in the first machine age.* Architectural Press, London. 1960.

——. *The architecture of the well-tempered environment.* Architectural Press, London. 1969.

Bowley, M. *The British Building Industry.* Cambridge University Press, London. 1966.

Condit, C. W. *American building art. The twentieth century.* Oxford University Press, New York. 1961.

Cowan, H. J. *An historical outline of architectural science.* Elsevier, Amsterdam. 1966.

Leroy, J. C. *et al.* (eds.) *A half-century of French prestressing technology*. Travaux, Paris. 1966.

Giedion, S. *Space, time and architecture.* (5th edn.). Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1967.

Haegermann, G. *et al. Vom caementum zum spannbeton*, Vol. 1. Bauverlag, Wiesbaden. 1964.

Hamilton, S. B. *A note on the history of reinforced concrete in buildings.* National Building Studies, Special Report No. 24, H.M.S.O., London. 1956.

——. *A short history of the structural fire protection of buildings.* National Building Studies, Special Report No. 27, H.M.S.O., London. 1958.

Joedicke, J. *Shell architecture*. Tiranti, London. 1963.

Mainstone, R. J. *Developments in structural form.* Allen Lane, London. 1975.

Maré, E. de (ed.) *New ways of building.* Architectural Press, London. 1948.

Michaels, L. *Contemporary structure in architecture.* Reinhold, New York. 1950.

Otto, F. (ed.) *Tensile structures.* M.I.T.Press, Cambridge, Mass. 1973.

Richards, J. M. *An introduction to modern architecture.* Penguin, Harmondsworth. 1940.

Timoshenko, S. P. *History of strength of materials.* McGraw-Hill, New York. 1953.

Torroja, E. *Philosophy of structures*. University of California Press, Berkeley. 1958.

Wachsmann, K. *The turning point of building.* Reinhold, New York. 1961.

White, R. B. *Prefabrication. A history of its development in Great Britain*. National Building Studies, Special Report No. 36, H.M.S.O., London. 1965.

第38章 城镇规划

科林·布坎南爵士
(SIR COLIN BUCHANAN)

958

一切城镇的存在及其形态，都是某种程度上有意识规划的结果。假若一座城镇的原始核心是一座仅有的建筑物，那么这是某人为了某个目的选定这个地点而建立起来的；另一个人又在第一座建筑物的一侧而不是另一侧建立起第二座建筑物，如此等等。然而，预先规划的程度都是千差万别的。如上例所示，有些城镇的发展是一系列建造某些建筑物的决策的结果，而这些建筑物主要受制于保持初步形成的实用方便的街道系统的需要。另外一些城镇则一开始就是按照有意识地为更大区域拟定的规划方案而建立起来的［例如，古罗马的城镇具有棋盘式街道规划图以及分配给市场、寺庙和兵营的街区（第Ⅱ卷，第14章）］，或者世界各地的为适应人口增长的需要而建立起来的新城镇，或者是新开拓领土的中心城镇，有些甚至是新的首都［例如，堪培拉，图38.1（1908年）；巴西利亚，图38.17（1960年）］。还有许多城市属于另一种类型，它们一开始有一个精心规划的核心，然后经过一段扩张时期，由边缘向外杂乱无章地增长，再后来又相当有计划地扩展。英国的巴斯市就是一个很好的例子。它有一个经过规划的罗马式核心；在中世纪添加了狭窄且不规则的街道系统；在18世纪增建了广场、交叉路口的圆形广场和马路中间的绿地。然后，从产业革命开始，它又经历了杂乱无章的扩张时期。最后，在20世纪，围绕城

959



图 38.1 澳大利亚的堪培拉。第一次世界大战之前已构想好将其作为澳大利亚联邦首都的规划方案，尽管后来有所修改，但城市中心的布局还是反映了那个时代流行的对称性和永久纪念性的思想。对远离中心的地区提出了一些使人感兴趣的计划：既应对了城市的继续扩大，又不抑制城市设施的建设，避免了过去老城市周围无序扩展的弊病。

市的边缘增加了经过规划的大片住宅区（图 38.2）。

然而，总的来看，我们可以这样说：直至 19 世纪中叶（即全面进入产业革命时期后），西方国家城市发展的总格局在很大程度上归因于土地市场的交易情况和实业家要求工人住处靠近工厂的意愿，而

962

不是市政当局或开明的土地所有者为方便居住在这块土地上的人们有



图 38.2　英国巴斯，从东面拍摄的鸟瞰图。这个城市是围绕着位于埃文河湾的罗马式核心而发展起来的。温泉浴室仍被保留着。大教堂和它周围的狭窄街道是中世纪城市发展的象征。东北方，在照片的边缘可以看到皇家新月广场和圆形广场，是 18 世纪大扩展的一部分。西面远处是 20 世纪的住宅区。在大教堂以南，占有河湾大部分土地的是商业中心，大部分是在第二次世界大战中被毁后重建的。

意识地进行规划的结果。由于上述时期正是大多数西方国家人口高速增长时期，这就难怪早在19世纪中叶，城镇的状况已引起有识之士的极大忧虑。那时，城乡的恶劣状况主要表现为霍乱、伤寒和很高的儿童死亡率。

38.1 产业革命对城镇规划的影响

在英国（首先考虑英国这个例子是颇有益处的，因为这个国家是产业革命的先驱，受到产业革命的猛烈冲击，具体表现为大规模的人口爆炸和城市的急速扩展），城市状况严重恶化，不得不成立一个叫作皇家城镇环境委员会的组织机构。这个委员会在1844年提出的一个报告，导致了1848年的《公共卫生条例》的颁布。这个条例把注意力集中于工业贫民区的病态上。起初，主要关注卫生方面——下水道、垃圾和煤渣的处置及通风问题，但很快就把注意力转向居民区的设计和布局、街道宽度，以及由政府规定的、私人和公共开发者都必须遵守的最低标准（图38.3）。然而，住宅改革家（现代城镇规划在很大程度上应归功于他们）并不满意，他们认为城市的改善不能只停留在卫生条件上。霍华德（Ebenezer Howard）和格迪斯（Patrick Geddes）等人开始提出城市的组织和功能这样一些基本问题。朗特里（Rowntree）家族在约克郡附近的新伊尔斯威克（New Earswick）建了一个“模范村”，接纳他们工厂中的工人。不久，卡德伯里（Cadbury）兄弟——乔治（George）和理查德（Richard）——于1879年建立了伯恩维尔（Bournville）（图38.5）。1898年，霍华德出版了《明天：一条通往社会改革的和平道路》（*Tomorrow : a peaceful path to social reform*）一书。他在这本书中倡议，要设法获取一大片土地，在上面规划城镇和全部工业设施，使工厂主和他们的工人能够在有益健康的、经济的条件下安居乐业。他又倡议，把新社区所创造的土地价值用于商业经营，借以补偿市政费用的税收开支。他还倡议，

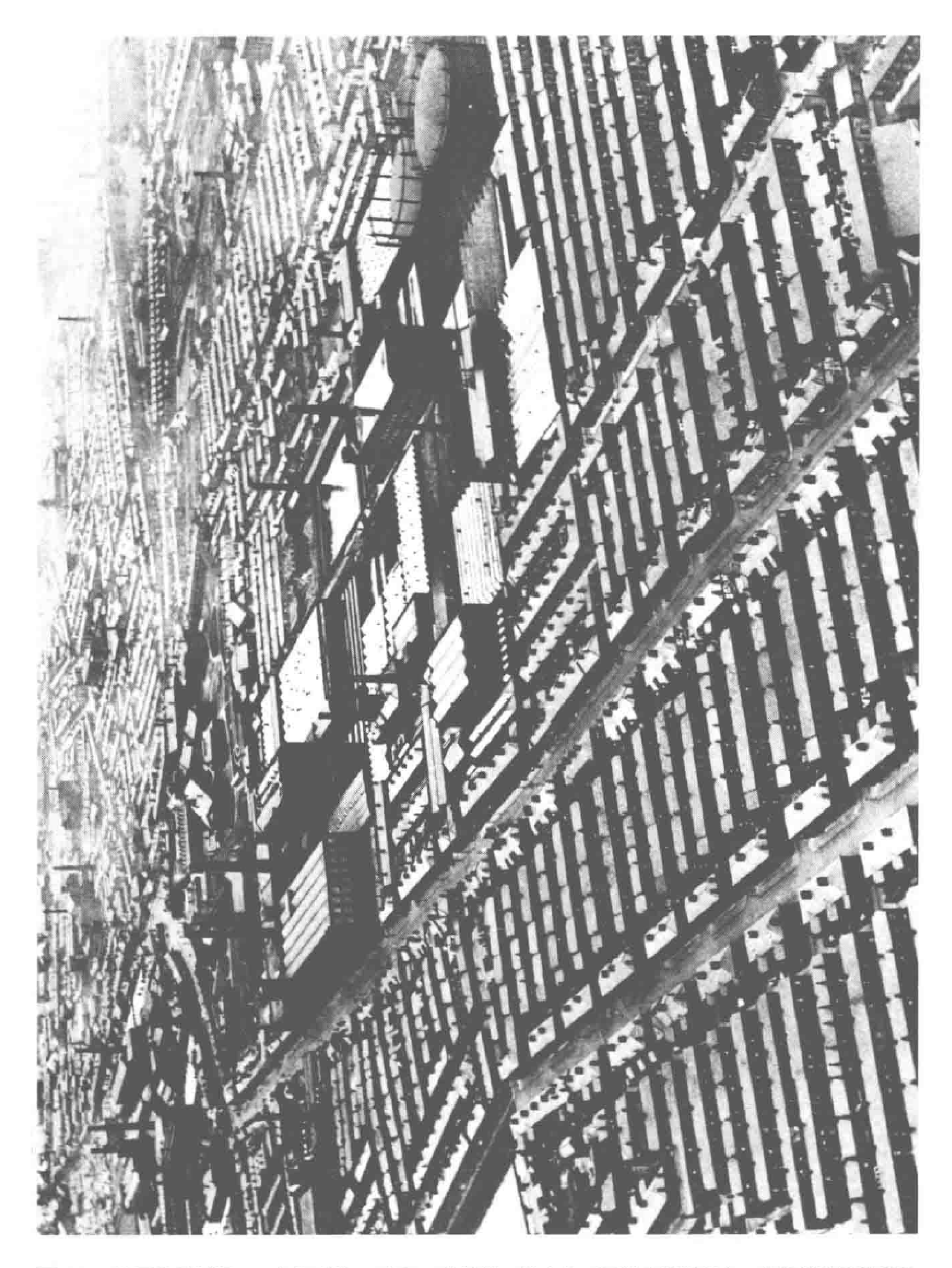


图 38.3　英国普雷斯顿，一个典型的 19 世纪工业城镇。住宅在工厂的步行距离内，是根据法律规定的最低标准设计和布局的。注意，住宅区完全没有绿地，孩子们只能在街头玩耍。然而，在这样人口稠密、空间狭小的地区，人们却能找到友谊、忠诚和危难中的相互帮助；人们常常抱怨 20 世纪的住宅，无论是郊区的低层住宅区，还是城内的高层住宅区，恰恰缺乏这些真情。

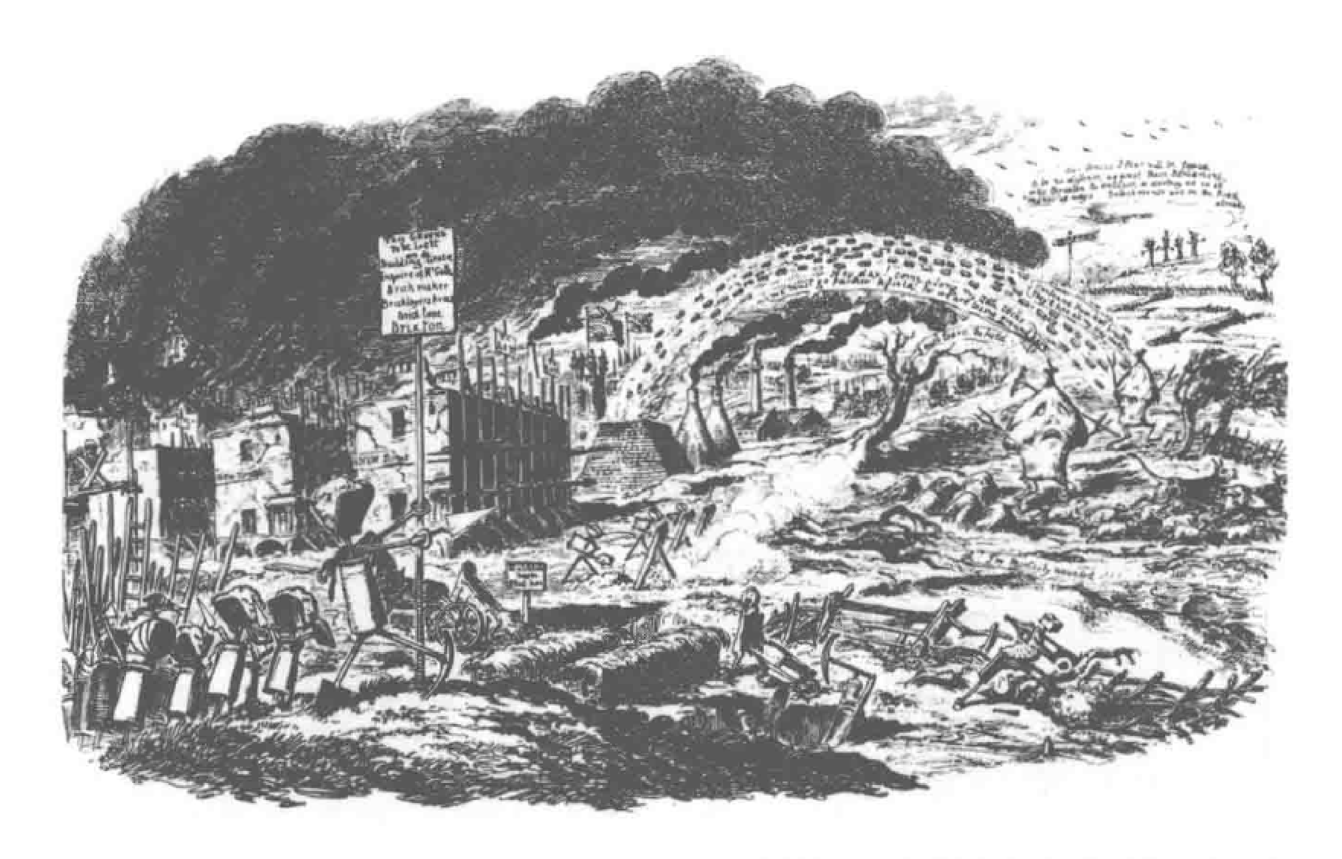


图 38.4　克鲁克香克（George Cruickshank，1792—1878）在这幅漫画中讽刺了城市无计划扩展的现象。城市无序扩张一直是人们关注城市规划的原因，也是实行城市规划的主要理由。人们希望城市的扩展能有秩序，不至于严重破坏农业土地和农村环境。这些愿望往往并不总是能实现。



图 38.5　英国的伯恩维尔，19 世纪一些实业家关心其雇工住宅建设的具有开明观点的一个范例。

在规划方案中要保留一条宽阔的农业地带，使城乡生活紧密联系，并使城镇的扩展不至超出规定的最大限度。城镇的进一步发展，则采取在农业地带以外的地方建立新的城市中心的方式。这种办法将使农业与城镇的社会生活、商业设施和机器设备持久地联系在一起。

38.2 花园城市的概念

964

霍华德在这本书中还提出了“花园城市”的概念，它在许多国家的城镇规划思想中肯定起了重要作用。他还把城镇规划的概念扩展为区域规划的概念，可根据受城镇影响的区域来研究城镇（图 38.6）。霍华德设想，城市中心应均匀地分布在全部国土上，发展成为全国花园城市系统。这会给农业带来很大的益处，并对食品生产和农业人口的增长产生深远影响。这是第一次认真尝试把涌向大城市的人流转移出去。霍华德认为大城市给政府提出了难以解决的问题，如贫穷、公

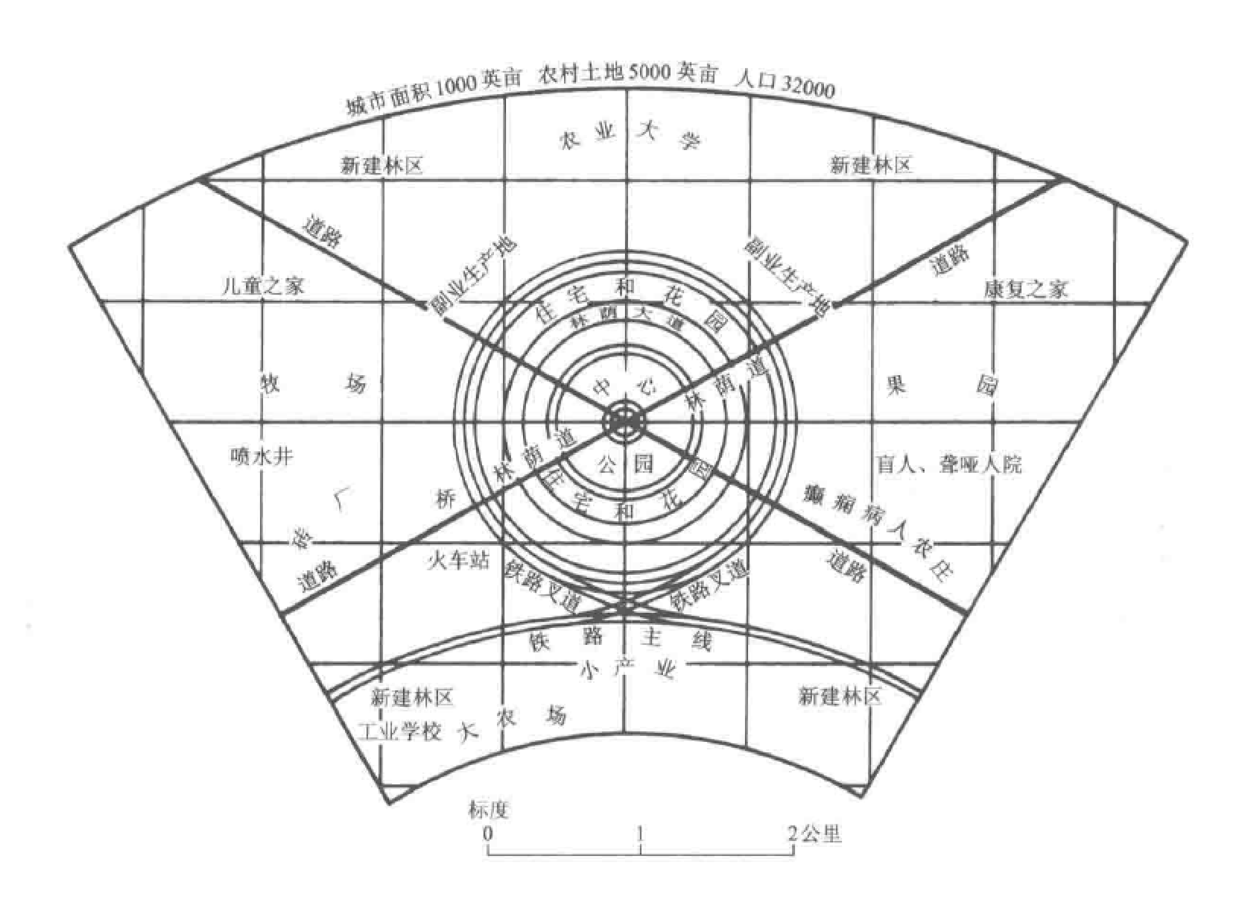


图 38.6 霍华德的“花园城市”概念，试图避免工业城镇的弊病。

共卫生和交通运输等。霍华德著作的一个直接效果，就是于1904年在赫特福德郡的一个纯农业区建立了“莱奇沃思花园城”(Letchworth Garden City)，土地是由一家名叫“第一花园城市有限公司”的股份公司购买的。在这片土地上规划设计了一座有3.5万人口的城镇，包括住宅、工厂、商店、学校和公共建筑。这一工程进行了许多年才完成。16年后，即1920年，霍华德的思想得到半官方的支持，建立起“韦林花园城”，计划人口为5万人，它的建立是为了最终实现建成环绕伦敦的卫星城市带的总构想。

霍华德及其追随者可能会受到这样的批评：把新城镇作为从大城市转移人口手段的这个思路，绝不是处理城市问题的现实政策。实际上存在着各种形式的“集合城市”：伦敦是一个庞大的城市群；伯明翰是复合城；利物浦-曼彻斯特是无规划的集合城；在泰恩河上纽卡斯尔的基础上扩展出的城市；在格拉斯哥的基础上从克莱德谷地杂乱无章地发展起来的城市。这些地区的人口都很多，数以百万计。根据实施情况实际估计，每个3万—4万人口的新的小城镇规划也丝毫不能解决这些地方的问题，尽管那些小城镇可以给少数有幸住在那里的人们提供良好的生活条件。因此，应当继续注意已有城市和集合城市的问题，不过要把关注的重点逐渐拓宽到环境卫生和住宅设计以外的问题上去。

965

38.3 城镇规划的立法

在英国，第一次出现“城镇规划”这个术语的法规是1909年颁布的《住宅、城镇规划条例》。这个条例并不太认真，它只不过给地方当局一点自主权，即在地方当局认为本地很可能会扩展而根据公共利益又必须加以控制时，可以制定本地部分地区的规划方案。在这些条款下所作出的规划方案，大多是一些城镇为满足人口增长的需要由边缘向外开拓。从更广泛的意义上说，这是1939年第二次世界大战

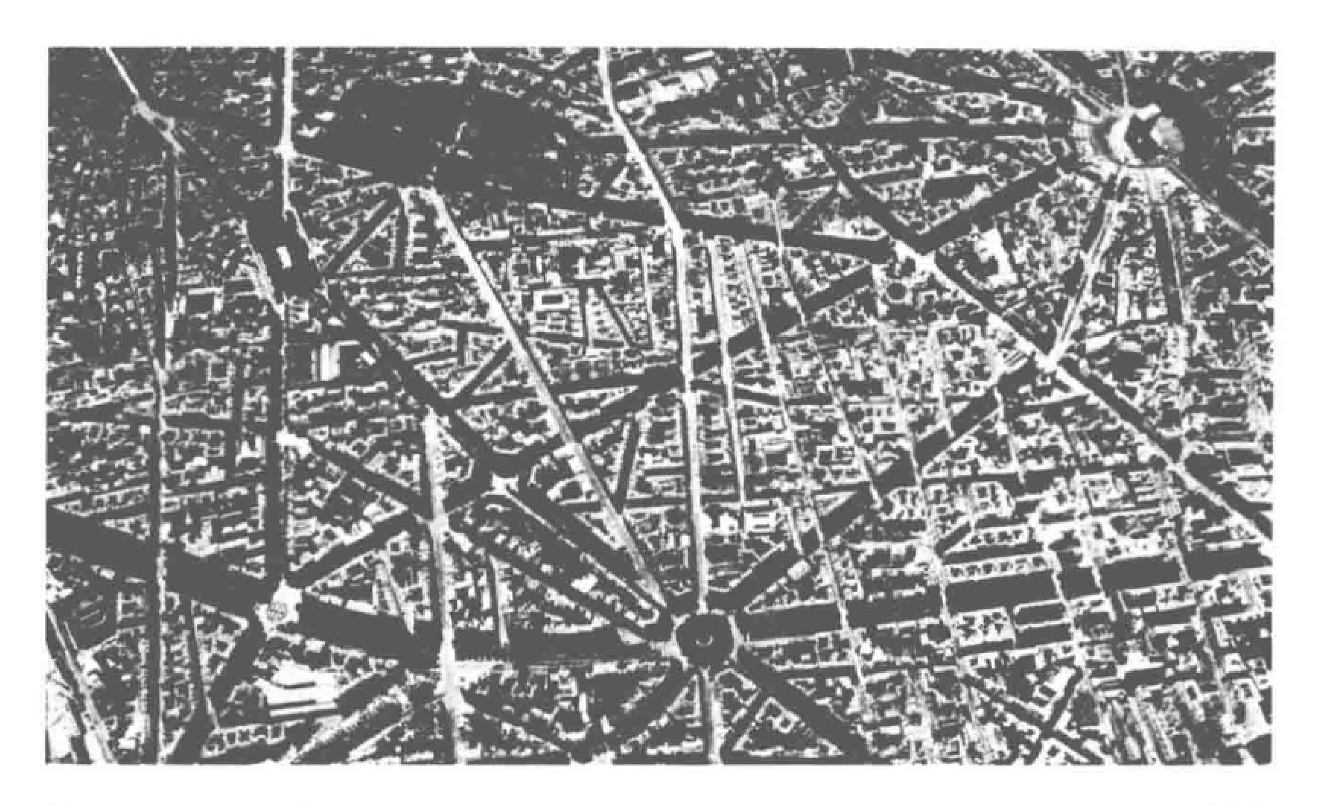


图 38.7　法国巴黎。在 19 世纪中叶，塞纳省省长豪斯曼男爵（Baron Haussmann，1809—1891）开始实施彻底改造巴黎的宏伟计划，包括建设几何形状的宽阔的林荫大道。为拆毁房子和动迁居民所付的费用必然是很可观，在一个世纪后的舆论环境下这样大规模的改造是否行得通可能会被质疑。



图 38.8　美国纽约。多年来人们一直要求在一定地区的建筑物发展总量与由此产生需求的交通、电力、下水道、自来水、污染物等数量之间形成定量关系。曼哈顿是建筑物过度密集的典型。在这张图中可以看到，较早的建筑物的高度和体积还算适中，后来是试图避免对四邻过分遮阴的"阶梯塔形"建筑阶段，最后是大量高耸的摩天大厦不顾后果地发展起来的新近阶段。

爆发以前的城镇规划模式，尽管在此期间立法逐渐变得更复杂。因此，地方当局获准，要是它愿意就可以制定“区域规划方案”，指导地区的发展，其范围可以大到包括整个郡。应该指出，这个时期的立法在很大程度上是针对已造成的危害而制定的。在20世纪20年代和30年代初期，城市建筑物大量地无计划地蔓延和伸展，沿公路干线“呈带状”发展的一系列建筑吞噬了农业和园艺的良田，毁掉了郊区；由于道路的增多，破坏了公路干线的功能；而且，城市住宅区也绝不会具有悦目的外观和方便的条件。然而，在1939年大战爆发、正常发展过程停顿之前，有关法规大多制定得太晚、太温和、太宽松，多数任凭地方当局自由处置，没有产生什么有益影响。况且，这些法规还存在着一个致命的缺陷。地方当局在断定某些发展违反公共利益之后，虽然可以运用其无可争辩的权力去限制或制止这些发展，但是它有义务支付给土地所有人补偿金，以补偿他们在房地产中预期实现的开发价值的损失。地方当局唯恐付出大量的补偿金，不敢拒绝批准发展项目。当然，在多数情况下，由于市政当局采取的某些行动（如建造新的马路或铺设下水道系统），在很大程度上使得土地变成“适于开发”而价值剧增。市政当局只能从合理批准的开发项目那里扣回全部或部分增值，用来支付拒绝批准的开发项目的补偿金。除此之外，别无他法。这就是著名的“补偿和增值”问题，它多年来困扰着人们，使英国的规划制度注定要落空。

967

38.4 城镇规划视野的扩大

20世纪30年代初，这是英国和其他一些国家经济萧条、金融危机和大量失业的年月，官方逐渐认识到，城镇规划要有成效就必须关注设计和布局以外的事情。姑且不论别的因素，仅仅英国北部“单一工业”城市的困境就足以使人们确信这种认识。那里的城镇多少年来一直十分成功地依赖于一种稳定的工业，如造船、煤矿或纺织等。但

当这些工业市场崩溃时，城镇就陷入大量失业的困境，带来严重的社会后果。伴随这个过程的是国家分离成为两部分的倾向：一个不富裕的萧条的北方和一个甚为繁荣的南方。南方毕竟较少依赖英国传统的重工业，有较多的就业机会。在这种形势下，很自然地出现人口由北向南流动的明显趋向。其他一些国家也出现过同样的现象，意大利尤为明显，不过那儿是南部而不是北部日趋贫困。

1938年，英国政府组建了皇家工业布局委员会着手调查这些情况。委员会在第二次世界大战期间提出一个报告，该建议直到1946年方付诸行动，经国会通过而成为“工业布局条例”。这个条例的主旨是规定任何个人和团体，如欲从事工业开发而超过一定占地面积，都须向中央政府的主管部门——商务部申请“工业开发许可证”。商务部在行使批准或拒绝颁发许可证权力时必须顾及指定的“开发区”，即在20世纪30年代萧条中遭受严重损失的那些地区的需要。显然，这个条例所授予的权力有很大的社会意义和经济意义。实际上有了这些权力，政府就能够指导工业在最需要的地区发展。事实上，这就是“区域规划”。应该指出，能够行使这个权力的机构是商务部，而不是中央或地方一级的负责行使规划权力的部门。尽管如此，规划先行的思想还是发展起来了，各有关群体的利益逐渐统一起来。

968

第二次世界大战期间，英国又提出了几个有广泛意义的报告。《乡村土地利用委员会的报告》(1942年)要人们注意，急需抵御城区发展和矿产开采的压力，保护有价值的农业土地。《皇家补偿和增值委员会的报告》(1942年)提出了处理这个棘手问题的办法。还有许多关于个别城市，特别是遭受空袭破坏的城市重新规划的报告，其中最重要的大概是阿伯克龙比(Patrick Abercrombie)和福肖(J. H. Forshaw)起草的《伦敦郡规划》(1943年)，以及阿伯克龙比起草的《大伦敦规划》(1944年)(图38.9)。这两个报告是新的更广泛意义上的“规划”，因为这两个报告首先试图分析伦敦的社会问题和经济

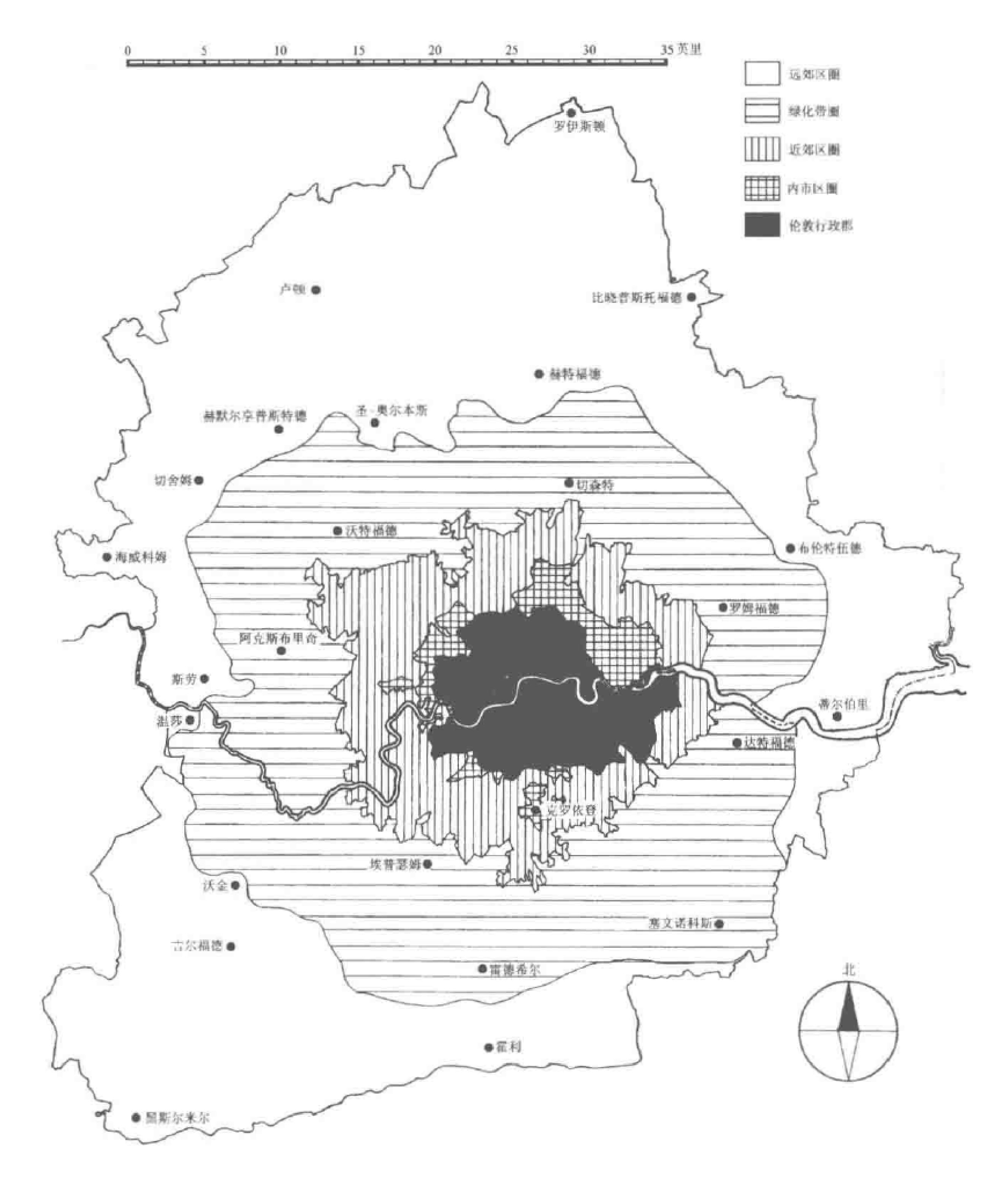


图 38.9　1944 年的大伦敦规划。关键部分是确定 4 个圈，采取减少过度拥挤的市区内圈的人口，稳定近郊圈和绿化带圈的人口，在城郊环带谨慎地控制人口增长。据此作出伦敦新市镇主要企业的规划。

问题，然后才阐明改变城市自然结构的建议。例如，报告发现伦敦“内圈”存在着过度拥挤（住宅中居民过度拥挤和地面上住宅过度拥挤）的严重问题。报告建议将约 100 万的人口连同他们的工作从这个

地区“转移”到伦敦“绿带”以外的待建“新城镇”圈或更远的已建城镇中去。“绿带”本身也是这两个报告所提出的一个建议，尽管这是对多年前提出的概念的重新确认，但可以看到它对限制伦敦向外扩展的积极作用。

38.5 英国——具有历史意义的1947年法令

970

然而，所有这些酝酿中的思想和建议都必须有一个法律框架才能成为具有实际价值的东西。1947年的《城乡规划法》和1946年的《新建城镇法》提供了这样的法律框架。1947年的法令具有革命性，它废除了以前的所有规划法规。在全部国土上，任何打算使用土地的发展计划都受它的强制约束。郡议会和自治市议会负责执行这个法令。实际上，所有的发展项目和土地使用的变动，现在都由同样的地方当局来具体控制。应该指出，它们的权力远比过去行使规划权的城乡地区议会要大得多，也有力得多。该法令规定，所有土地的“开发价值”(即土地可能具有的潜在开发价值超过其现有使用价值的部分)被视为已由国家购买；国家拨出总数为3亿英镑的专用款项买下所有土地的“开发价值”。土地所有人必须提出补偿申请；而补偿金并不是一次性全部付清的。将来，当已在3亿英镑这块“蛋糕”上分到一份的人因自己的利益使用土地而被阻止时，都不得再申请附加的补偿金。“增值”的问题是这样处理的：规定所有参与发展项目的人都必须支付“开发税”，其数额根据受益程度来定。该法令的内容还包括控制广告的措施；保护树林和林地的措施；设立自然保护区、具有科学价值的保护区以及著名的自然风景区；保护具有建筑学价值和历史价值的建筑物，等等。总之，这个条例把所有西方国家曾经颁布过的规划法规都综合在一起了。

《新建城镇法》的主要内容是建立管理新建城镇规划、资金筹措和建筑事宜的行政机构。起初，把新城设想为6万人口的城市实

体，即使这样，其规模也比英国过去审慎地规划的城市要大得多（图38.10）。结果，许多新城（第二次世界大战结束以来大约新建了26个）的人口远远大于6万。政府机构的主要特征是建立一个名叫“开发公司”的专门团体，由中央政府拨给资金，拥有强制征用土地的权力，并有权建立它自己的专业人员队伍。

973

38.6 各国规划实践的差异

以上是20世纪中叶以前英国城镇规划发展的简况，它广泛地代表了大多数西方国家的经历。事实上，所有这些国家都毫无例外地认可规划的必要性。它们之间的主要差别在于构想和执行规划方案的严密程度有所不同。例如，在美国和澳大利亚，那里的开拓精神仍然很活跃，人们有权任意处置其财产的传统仍根深蒂固，城镇发展几乎完全是根据土地市场的行情来进行的，规划方案往往只是一张分区地图，给城市发展略微带来一点秩序。但是，在欧洲，特别是在英国，由于强烈地感受到人口增长的压力，导致土地使用上的矛盾，改革家通过规划来寻求社会秩序的变革，就包含了对土地所有者和房产所有者迄今被公认的权利的根本性挑战。

不同国家在规划实践上的差别，还反映在执行规划的组织设置上。再以美国和澳大利亚为例，这两个国家的规划权掌握在围绕某个相当大的“中心城市”的大批小城市市政府手中，它们各自执行自己的规划方案。这样的安排很难从地区范围出发去实施规划，因此也难以从全地区的视野来看待诸如交通运输和人口迁移等问题。如果所有的小城市市政府都为了声望和利税而专注于自己的发展项目，困难就成堆了。为了从更广阔的视野看问题，咨询性规划应依靠一个州或几个州政府联合起来拟定；或者依靠志愿的自筹经费的团体（如纽约地区规划协会）来拟定；或者根据大学研究人员所阐明的观点来拟定。在欧洲，区域的观点也许比较容易得到支持，因为它的必要性较明显。在



图 38.10　苏格兰坎伯诺尔德。新建城镇通常归功于在花园城市运动中发展起来的霍华德思想，其规划的显著特色是在战后接纳从过度拥挤的城市转移出来的人口。

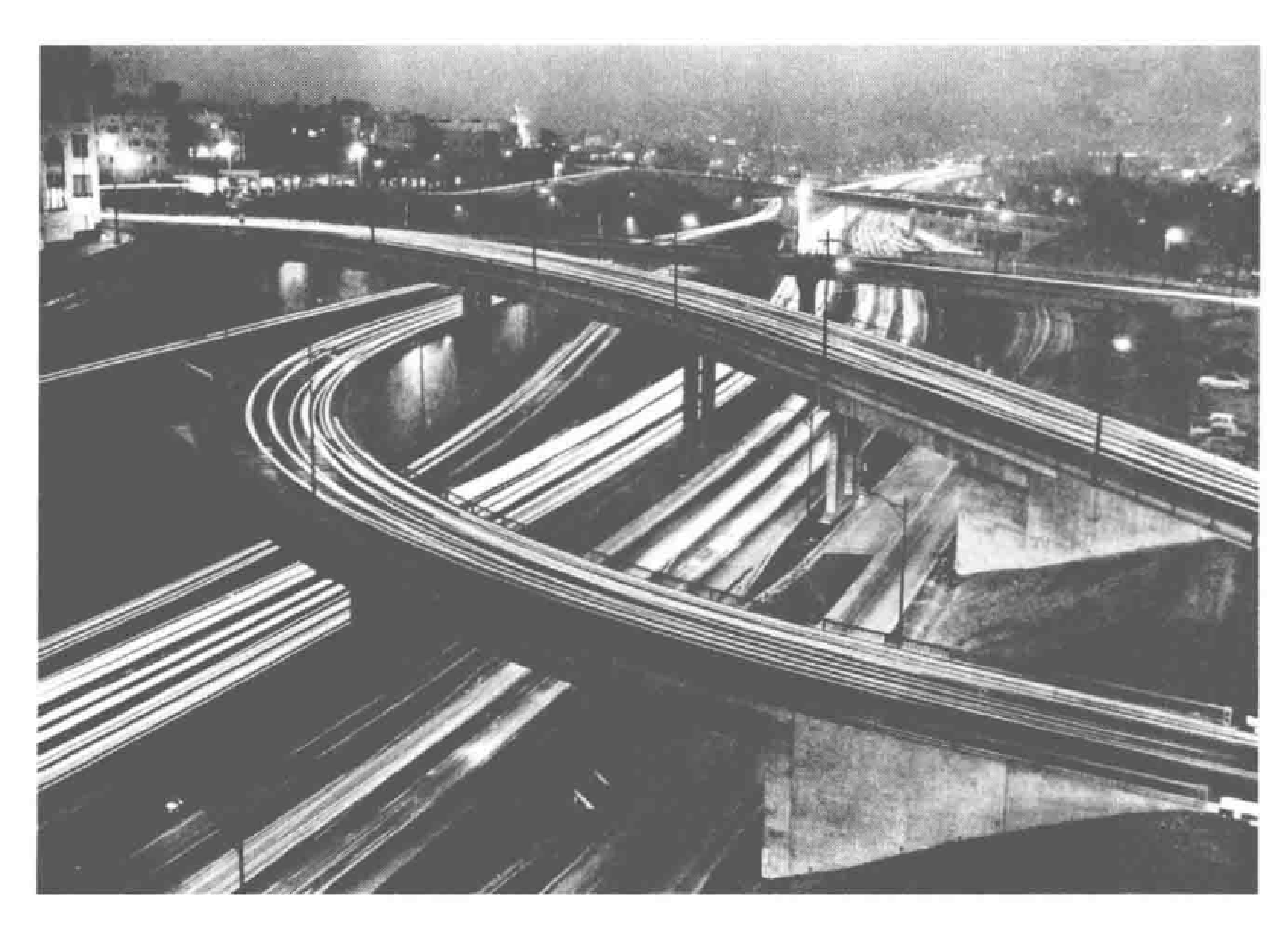


图 38.11　美国洛杉矶的加利福尼亚高速公路。 汽车交通无情地向城市规划工作者提出一个难题。道路要满足汽车交通的全部要求，就要设计得很宽、很复杂，这就要占用城市的许多土地；然而减少汽车数量的限制政策又得不到公众的赞同。



图 38.12　苏格兰的格拉斯哥。高密度的高层住宅很大程度上是由于土地价格上涨和市政当局不想失去人口而造成的。这样的住宅对有儿童的家庭是不人道、不适用的，受到人们尖锐的批评。

法国，由于有中央集权制的稳固传统，比较自然地形成了“全局观点”。在联邦德国，州政府就是“地产主”，随时准备好以区域的观点来考虑问题。可是在英国，由于坚信地方政府，即使不考虑在萧条地区或后来所称的“开发区”已冒出的明显问题，仍有一大堆难以解决的困难。

38.7 战争破坏的影响

974

第一次世界大战对城镇的破坏并没有给城镇规划思想的发展造成多大影响；规划思想对城镇的重建也没有产生明显的影响。但第二次

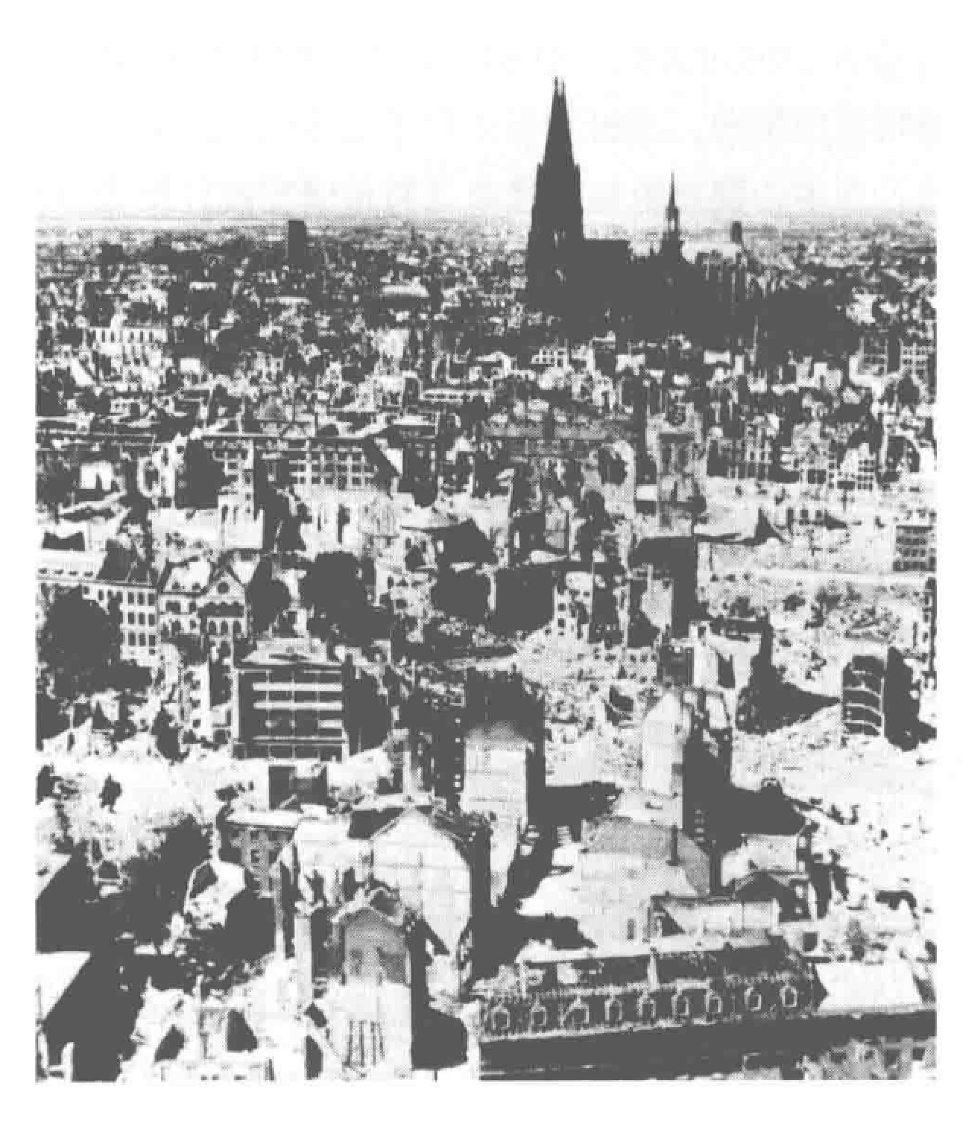


图 38.13 联邦德国科隆。遭受战火破坏的欧洲城市给城市规划者带来了许多问题和机遇。

世界大战结束时，情况就大不一样了，欧洲很大一部分城市毁于战火（图 38.13）。多数被战火波及的国家认识到有必要建立研究团体去研究重建工作中的工程、建筑、法律和资金问题。随着控制城市改造和为之筹措资金的新方法的出现，城市规划的思想被大大地向前推进了。在这项工作推进的同时，城市改造之风吹遍全世界，许多国家都涌动着别开生面的改造设想，而世界贫困地区快速扩展的城市，却隐隐出现了新的第一批城市问题危急信号。

975

38.8 规划的若干成就

可以这样说，在 20 世纪中叶，规划的必要性——为了全体公众利益控制土地使用的必要性，特别是控制市区扩展和变化的必要性，已为全世界所广泛接受，不再是一个政治论争的主题了。但是，接受这个思想是一回事，设置机构将这个思想付诸实践并使之奏效又是另一回事。即使像英国这样的国家也是如此，尽管到 1950 年它已有先进的（并且繁多的）法律体系。结果，在 1950 年以后的几十年中，城



图 38.14　联邦德国科隆。通常坐落于近郊的全封闭空调购物中心，已成为北美城镇规划的特色。相反，如图所示，欧洲仍保留原有城市中心的传统商业街道的繁荣景象，那里禁止车辆通行。

镇规划既有成功，也有失败。在英国，遭受轰炸的城市中心重新建设起来，然而并没有建筑学上的特色；新城建设起来了，并堪称世界上重大的社会成就；乡村在很大程度上防止了城市化的恶果，而现今的变化无疑主要受现代耕作方法的影响。一项巨大的清除贫民窟的工作已着手进行，然而尚未完成；人口向南方流动已被制止；虽然已尽了很大努力把企业引导到有就业需求的地区，然而还做得不够。对具有历史价值和建筑学价值的建筑物进行登记的艰巨任务已完成；这份登记清单已成为持久努力保护这部分国家遗产的基础，尽管它并不总是奏效。乡村地区的广告已被完全控制；采矿作业已置于严格控制之下，采掘完毕的地区要恢复原状；《净化空气法》（1956 年）已在城市地区取得显著成绩。

976

在法国，区域规划取得引人瞩目的成就，给国民经济带来明显的好处。这些规划包括巴黎地区发展战略规划，其中一项是在鲁瓦西新建的戴高乐机场。在联邦德国，战争造成全面的破坏，需要采取特殊措施。结果，这个国家在作出巨大努力以后，出现了大量重建过的城



图 38.15　瑞典斯德哥尔摩。城市中心重建的明亮建筑物打破了传统。这里，商店、饭馆和咖啡馆位于不同的楼层，带有连接的平台和禁止车辆通行的步行道。



图 38.16 瑞典斯德哥尔摩。尽管向往有无车辆地带可供行人自由漫步，然而事实上是汽车交通满足了城市的许多需求，无车辆地带几乎总是以其他地区的车辆拥挤为代价。

市和工业设施，并清除了贫民窟，对经济发展产生了极大的促进作用。
977 在斯堪的纳维亚半岛国家，重新建设的富有想象力的城市中心并不少见，如在斯德哥尔摩市中心（图 38.15 和图 38.16），还可见到高标准布局和建设的卫星城镇，如赫尔辛基附近的塔皮奥拉。

在美国，法定的规划系统一直难以超越刻板的分区规划，似乎是对这种情况的一种补偿。人们在自愿的基础上联合起来，以民间团体的形式蓬勃地开展了一场活动，促进相邻地区的环境改善工作，并千方百计地劝说行政当局认识到它们在改善环境方面的新责任。例如，认识到这点之后，设立了联邦“住宅和城市发展部”；而且还认识到——可能是世界上最先认识到——不仅要关心自然环境，而且更要关心另一种“环境”，诸如就业机会、睦邻关系、丰富的休闲生活及方便的城市设施等。此外，美国的大学也对城市问题作了大量不同层次的研究，使全世界受益匪浅，虽无法享受成果，但至少在所用方法和技术上有所启发。这些研究中特别引人瞩目的是调查和研究了在

土地的使用与由此引起的人员和商品流动之间的关系。

38.9 教育和规划

城镇规划开辟了教育的新领域。按照前面的叙述，可以说规划始于环境卫生问题，是始于令人震惊的工业贫民窟的环境条件。早期，改善城镇的工作所涉及的专门学科主要有环境卫生、下水道和供水工程（第Ⅳ卷，第16章；第Ⅴ卷，第23章）。但当注意力扩展到住宅群的设计，最后又扩展到地产和花园城市时，很自然地就愈来愈多地涉及建筑学专业。然而，这些较大的发展还涉及土地征用、土地价值和住宅区管理等问题，因此也包括在英国叫作“土地测量”的这种专业。1914年，英国的建筑、土木及市政工程、土地测量3个行业终于认识到城镇规划是它们共同关心的问题，因而联合起来建立了一个新的专业学院——城镇规划学院。在很长一段时间内，这3个行业的哲理和兴趣支配着城镇规划的主要发展方向。这就是说，由于把情况过分简化，城镇规划活动的内容被极勉强地看作在图板上拟定设计图。既没有措施，也没有动力去把社会问题和经济问题引入规划。即使在公路交通方面（第30章），拥挤问题也基本上被看作“水力学”问题。也就是说，车辆交通被看作在水道中运动的流体。如果流动阻塞，治理的办法就是把水道拓宽。没有人问为什么路上的车辆数目增加得如此之快，也没有人问车辆的哪些功能可以摒弃。所以，一次重大的社会变革——新的公路运输形式挤垮了铁路系统，很少引起城镇规划界的注意。这种疏忽派生出来的一个重要的副产品就是由高速公路工程师们组成的强有力的专业机构在大多数国家发展起来，他们的工作势必不仅支配城市规划，而且还支配整个运输政策。

978

第二次世界大战以后，城市规划活动已被大家接受，大多数国家显然十分需要经过充分培训的工作人员。由于城市规划已从图板转变为包括社会问题和经济问题在内的工作，所以需要采用新的技术。计

979 算机科学是其中非常重要的部分，它的主要作用是便于在作出抉择之前对多种复杂的备选方案进行评估。应该指出，在第二次世界大战结束时还没有计算机设施，所以伦敦的规划工作很费劲。可以这样设想，如果那时有了计算机，就可以为伦敦规划提出几个备选方案，合理地进行比较，有可能会采取与现在迥然不同的策略。

由于城镇规划要求工作人员具有广博的技能，所以它在受到大学重视之后不久就被确认为一个学科。规划工作者的教育逐渐从地方当局工程师和建筑师的办公室（青年以学徒的身份接受训练）转移到大学的研究生领域，那些在规划专业所需的基础课程（诸如建筑学、社会学、经济学或地理学）方面取得初级学位的学生，可以在规划专业取得更高的学位或文凭。后来，一些大学提供规划方面的初级学位，它理所当然地成为一门学科。究竟是学士学位好还是研究生好，仍然存在着争论。答案可能是，两种途径都有其足够的发展空间，而这种双重安排使这门学科更有活力、更深入。

38.10 城市问题仍是地方性痼疾

自 1950 年以来，城市规划工作者作出了巨大努力，跃跃欲试地准备为世界上许多国家的社会和经济福利作出重大贡献。然而 25 年后这些努力仅仅证实了一个结论：如果不是求助于规划，事情会更糟糕。尽管作了很大的努力，城市和地区问题仍是大多数国家政府首要关注的事情。这在自然和社会两方面均表现出来：各种设施持续地短缺（特别是住宅不足的苦恼）；经年累月的破旧设施；单调乏味且不甚方便的环境；交通运输的困难；形形色色的污染；社会服务的不周；就业机会的不足，不是失业就是无聊、肮脏、危险的工作，导致苦难和冲突；罪恶和暴力；空闲时间没有值得花精力去做的事情；社会和自然方面的种种病态关系；其他几乎没有记录在案的人类问题；大城市财政、规划和管理事务上的绝对困难；当所有这些问题由于种

族或宗教问题，或者两者同时存在而恶化时，就会出现可怕的“窒息”。这些问题在全世界的城市中将继续存在。如果说西方国家的问题已很严重，那么发展中国家的“幼年”都市状况则更糟糕。那里的增长速度是如此之快，以至超过了城市政府的能力，甚至无力提供像收集垃圾这样最基本的服务，更不用说组织起来提供有效的无腐败的市政管理了。

980

第二次世界大战后的最初几年曾有过一阵欢欣，当时英国颁布了1947年法令，看来可以指望以法律的框架去指导全国的重建工作，其他地方的立法也提供了同样的保证。然而此后，公众对城镇规划的好评似乎普遍减少。这可能部分地要归咎于规划的结果不能令人满意，庞大的官僚机构在尽力抑制私人的积极性和创造性，老百姓几乎看不到什么利益；部分地要归咎于这样的感觉：所有这些工作付诸行动就会在许多方面影响人们的生活，然而却没有同受影响的人们进行充分的磋商。英国往往是一个样板，接二连三地发生的意外事件不仅导致人们对规划方法的不满，而且使人们突然认识到：在一个过分拥挤的岛国，虽然规划还是必需的，但必须行之有效。1968年，伦敦东区（罗南角）有一幢公寓自行倒塌，引起了公众对这种住宅形式的强烈抗议。一条新建的城市高速公路（伦敦西路，1970年）引起了一场抗议风暴，人们反对新公路把市区割成碎片，并要求制定“综合运输政策”。为伦敦第三机场寻找地点的工作夭折了（1968—1970年），这将人们的注意力集中到一大堆环境问题上，甚至导致人们对保持经济增长会从根本上维系国家生存这一正确思想表示怀疑。

981

从新思想的酝酿中，似乎出现了新现实主义的规划思想。城市现在被看作无限复杂的场所，在那里一个最细微的变化就可能引起其他变化的连锁反应。城市问题要在城市整体中研究，尽力确定工作中应该优先考虑的地方。财政预算要根据上述目标来制定，并且要严格地保持在实际的开支限额内。银根普遍紧缩已把重点从雄心勃勃的规划

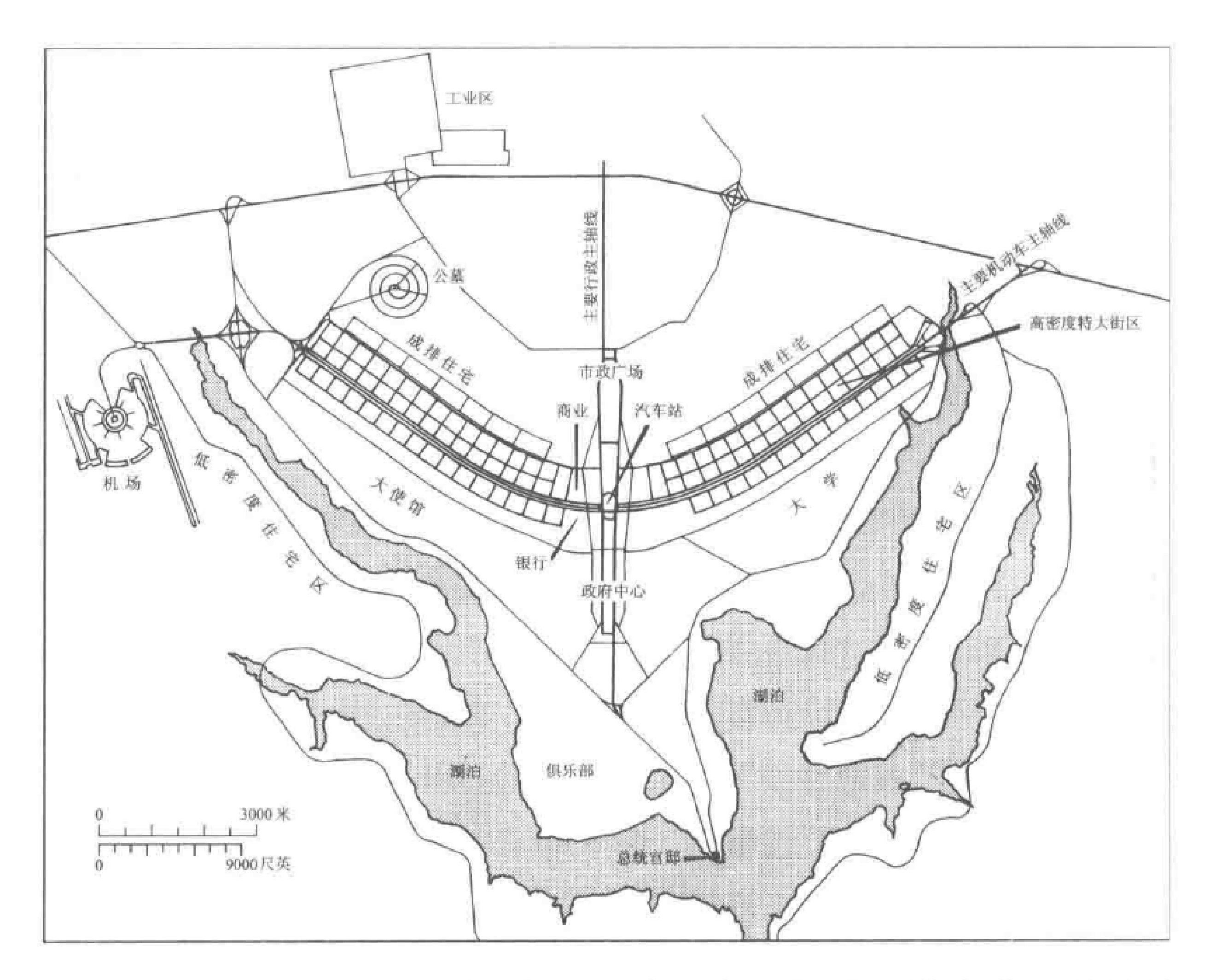


图 38.17　巴西的巴西利亚。巴西新首都设计在无人居住的半岛上。呆板的“弓箭形”的几何图式规划与坎伯诺尔德新城（图 38.10）较为有机的布局形成对照。其外形、气候和需要在低层住宅中体现的亲切感，强烈地影响了坎伯诺尔德新城的设计。

目标转移到对现有城市设施的良好管理上来。下决心努力寻找一种使公众能够参与制定规划政策的方式，不至于因某一方案有反对意见而使改造和发展停顿下来。由于分析技术在不断改进，从而有可能提出一些可供选择的行动方案并进行比较。然而，如果所有这些都能说到做到，也只是方法上的改变，大目标仍一如既往。这就是要使城市成为良好的生活场所，就要保护好历史遗产，要保护资源。

最后，我们要指出，城镇规划的历史集中体现了社会、政治和经济因素影响技术进步的方式。仅仅照本书各卷所提到的一些事情去做，如修筑公路、桥梁、多层建筑、机场、水库和下水道工程等，是远远

982

不够的。一般说来，这些开发项目愈来愈被通过政府行为产生的各种社会强制力所控制。这些强制力又依次影响到相关工业的发展，从而影响在这些工业中就业的机会。例如，各个层面的建筑公司及其供应商，对于地方政府的政策和中央政府的全国经济政策都很敏感。筑路公司对经济建设必不可少的大型工厂的投资，取决于对将来能否拿到建筑新高速公路和重建公路干线合同的判断。大型工厂厂商提高机器的能力，又可能因明显缺乏足够的市场而落空。我们可以这样没完没了地列举下去，只是要提醒一点：技术绝不是孤立存在的。

参考书目

关于城镇规划问题的文献，大多是官方或半官方的报告、学会的科研报告、大学的研究论文以及法律条例。下列书目基本覆盖了规划的历史或规划思想发展的各个转折点。

Abercrombie, Patrick. *Town and country planning.* Butterworth, London. 1933.

——. *Greater London Plan.* H.M.S.O., London. 1944.

Adams, Thomas. *Outline of town and city planning.* Churchill, London. 1935.

Briggs, Asa. *Victorian cities.* Pelican, Harmondsworth. 1963.

Buchanan, C., *et al. Traffic in towns.* H.M.S.O., London. 1963.

Collins, G. R., and Collins, C. C. *Camillo Sitte and the birth of modern city planning.* Phaidon Press, Oxford. 1965.

Cherry, Gordon E. *The evolution of British town planning.* Leonard Hill, London. 1974.

Jacobs, Jane. *The death and life of great American cities.* Random House, New York. 1961.

Le Corbusier. *The city of the future.* New York. 1930.

McKelvey, Blake. *The urbanization of America* 1860–1951. Rutgers University Press, New Brunswick, N. J. 1963.

Merlin, Pierre. *Les villes nouvelles.* Presses Universitaires de France, Paris. 1969.

Mumford, Lewis. *The culture of cities.* Harcourt, New York. 1938.

——. *The city in history.* Pelican, Harmondsworth. 1966.

Sharp, Thomas. *Town planning.* Penguin, Harmondsworth. 1940.

Unwin, Raymond. *Town planning in practice.* Ernest Benn, London. 1909.

Weber, Adna Ferrin. *The growth of cities in the nineteenth century.* Macmillan, New York. 1899.

第39章 # 工程的科学基础

奥布雷·F. 伯斯塔尔
(AUBREY F. BURSTALL)

在英国，产业革命很大程度上是由没受过什么正规教育的人士发动的。他们之所以获得成功，是因为他们同北美洲早期移民一样，开垦了肥沃的处女地。这个势头一直延续到19世纪中叶，随后不可避免地发生了变化。其他一些国家想要分享工业化所带来的繁华硕果，它们在英国还慢吞吞的时候，就已经认识到进步的基础在于新兴的产业工人阶级精通当时先进技术的基本科学原理。前文（第V卷，第32章）已经考察了19世纪后半叶科学教育的发展情况，接着（第VI卷，第7章）又讲到20世纪中叶以前的历史。本章对上述宽泛的研究作进一步的补充，论述工程的科学基础。20世纪初，获得学术资格的专业工程师已不足为奇，他们的作用和地位与日俱增。他们愈来愈不是以孤立的发明者身份，而是作为专家团体的一员而发挥作用，这样的专家团体可能包括在大学、企业里，或者在世界各国的国立研究机构中合作共事的冶金学家、化学家和物理学家在内。在这些机构中，我们可以说一说英国的国立物理实验室（1900年）和美国的国家标准局（1901年）。

美国的变化速度最快，它在科学研究和工科大学生的培养上投入了大量经费，随之而来的是其工业生产力的大幅度提高。德国技术进步的速度一直居于世界前列，它在航空科学方面有过一些重大的科学

发现，在飞机和飞艇制造、机械制造、高压化工设备、光学和其他仪器、机床以及焊接技术等方面曾处于领先地位。瑞士仍然是一个擅长一丝不苟精细设计的国家，它把科学分析方法应用于机床、涡轮机和机车等各种产品的生产上。苏黎世大学的斯托多拉（A. Stodola）在他那本著名的涡轮机教科书（1927 年）[1] 中，不仅讨论了设计所涉及的热力学问题，而且还讨论了流体流动、振动、平板与壳体和旋转盘的应力、热应力，以及孔和内圆角的应力集中等问题。

高压、高温和高速机器的使用，带来了不少难题，这就要求工程师们具有良好的科学基础和数学基础。经验性描述日益减少，而科学性描述日益增多。数学应用得愈来愈多，动力学研究变得愈来愈重要。人们发现，许多机械运动的难题都可以运用动力学分析方法加以解决。

欧洲大陆和美国培养出了更多的大学毕业生，而且其所受的训练也往往要比英国好一些（第Ⅵ卷，第 7 章）。英国人坚守一种信念，即在实践中培养工程师，这可能源自先辈们自学成才而功成名就的遗风。许多英国工程师依然是自学出身，或者充其量只在技术学院受过非全日制教育。这个时期，许多技术专门学校发展成为技术学院。其所开设的资格认证课程标准要比大学的学位课程稍低一些。俄国在十月革命后创立了技术教育综合体系，其技术进步速度也相应提高。

航空工程师率先引入应力分析法。正确的应力计算决定了所制造机器的性能和安全性。第一架飞机[2]（第 33 章）是用木材建造的，并用钢琴弦作拉条，钢琴弦是当时可能使用的强度最大的钢材。第一次世界大战以后，铝的生产发展才达到一个相当可观的工业规模。直到 1930 年，美国用铝制造的全金属飞机才步入常轨[3]。此后，又研制出强度 - 重量比很高的铝合金，用于飞机制造业。

第一次世界大战前不久，伦敦大学的安德雷德（E. N. da C. Andrade）[4] 开始就金属长期处于恒定应力下性能的变化进行了一些极为重要的研究。这一研究弄清了"蠕变"现象所涉及的物理因

素。“蠕变”是工程部件在稳定荷载下损坏的常见原因。他揭示出蠕变的3个要素：急性延伸、暂态流和定常流。安德雷德把后者叫作“黏性变形”，现在通常被称为“定态”蠕变。1935年，贝利（R. W. Bailey）[5]考察了当时流行的关于蠕变的各种学说，并研究了将已有数据用于工程设计的方法。

某些化学工艺，如氮、煤和石油的氢化，需要能够承受巨大应力的高压容器。这种高压容器原创于德国，然后推广到英国、美国、法国和意大利等[6, 7]。高温高压设备的接头和强化器壁的设计，表现出很大的创造性。

蠕变是金属在稳定应力下所发生的形变过程。此外，特别是随着运行速度不断提高的各种机器的出现，金属因承受周期性应力而出现的断裂危险不可轻视。1854年，布雷思韦特（J. Braithwaite）首先把这种现象称为“疲劳”。此后，许多机械性断裂都被指出是由这个原因造成的。最典型的是当时广泛使用的火车锻铁轴的损坏和破裂，在一个实例中近500根受损，而在另一个实例中锻铁轴受损数量则达到了“几千”[8]。许多工程师和科学家纷纷致力于金属疲劳特性的研究[9]。1858年，沃勒（A. Wohler）提出疲劳极限（如应力循环一千万次）和应力变程（如每平方英寸加减5吨）的概念，这两个概念被普遍接受并成为设计的依据。由于X射线的发现，人们能够在疲劳试验中看到晶体结构破裂成较小的颗粒，这与静力试验中屈服点处的情况相似。1917年，黑格（B. P. Haigh）[10]发现了有关腐蚀疲劳的现象 。

金属承受应力的另一个因素是某些加工过程中所产生的存留在金属中的残余应力。经过一些加工过程以后，这种内应力可能增大到危险的程度；不过，这一般可通过适当的热处理来进行消除。人们发明了冲击试验和硬度试验，并将之应用于金属的性能测定中。拉伸试验仍然最重要的是，它一是用来确定与应力和应变成正比的极限（弹性极限）；二是确定屈服点——在这一点上，金属虽然没有增加荷载，

却开始伸长；三是确定试样在断裂时的断面收缩量（“颈缩”），即金属延展性的量度[11]。

到1940年，为制造工程师开设的课程中已包括计量学的理论研究和应用研究[12]。从1930年起，生产车间和工具车间已规范地使用自准直仪、轮廓投影仪、量块、光学平面、正弦规和精密千分尺等仪器[13, 14]。加工的精度和产量取决于掌握了科学手段的制造工程师（第43章）对工具和操作者最佳配置的选择和决策。新的切削钢[15, 16]和机床试验的发展[17]，提出了许多本质上属于科学的问题。

焊接技术早期使用并无不当，而后找到了令人满意的焊接条件，到1940年成为流行的制造方法。焊接过的容器要通过各种科学试验，其中最重要的是X射线或伽马射线检验[18, 19]。美国进行了大部分的开拓性工作，1930年已开始使用电弧焊接制管机和X射线检验。在欧洲，研究开发了人工和自动的氧乙炔焊接法。但到了1940年，它基本上被钢材电弧焊接法所代替，钢材氧气切割技术，也相应得到普遍应用。

机床得到了重大发展（第42章）。美国的布朗-夏普公司（Brown and Sharpe）在1902年首先采用的液压传动和控制装置，得到了日益广泛的使用。工具车间出现的一种新机器是精密坐标镗床，原先应用于瑞士的钟表制造业，能够对大型铸件进行十分精确的机械加工，不过要求室内保持恒定的温度和湿度。类似的机器迅速在英国、德国和美国发展起来。其他的革新包括磁力夹盘（1900年）、无心磨床（1915年）[20]、用于切割金属的带锯[21]，以及1933年在美国作为“万能”机床使用的连续锉床[22]。

20世纪前半叶，所有文明国家中都出现了陆上运输革命，其中以美国最为显著，因为美国变革的步伐最大，从而加强了它世界工业领导地位。汽车运输日益普及，而铁路运输在1920年左右达到顶

点后开始衰退。铁路衰退的主要原因，是人们可以获得由福特公司(Henry Ford)首创的批量生产方法制造出来的廉价汽车[23]。1908—1927年，福特公司采用传送带系统大规模制造汽车，共制造了1500万辆T型汽车。其他国家竞相效仿，使用多种自动控制装置，建设自动化工厂。

1903年，施利克(Otto Schlick)为了减缓船舶的纵摇和横摇，把陀螺仪应用于自动控制[24]。后来，美国的斯佩里(Elmer Sperry)把它安装在军舰上[25]。另一种自动装置是用来控制蒸汽锅炉水位的克罗斯比(Crosby)给水调节器(1912年)，它是通过一个金属膜片的热传导来调节的。由于出现了许多控制蒸汽锅炉燃烧状况的自动装置，因此从1900年到1931年，锅炉的最大效率从70%上升到了89%[26]。转速仍然用离心式调速器来控制。英国的帕森斯(C. Parsons)于1917年设计出一种由分离式齿轮泵加压的供油系统，提高了调速器的功率[27]。

到20世纪30年代，对于处理高速往复运动的设计者来说，振动是不可忽略的研究，诸如大型船用发动机、高速飞机活塞发动机、轧钢机以及凡是受振动影响而限制机器运行的地方，都存在振动问题。因此，各种各样的减振器被设计出来，例如兰彻斯特(F. W. Lanchester)试制成功的汽车扭力减振器。1930年，盖革扭振自动记录仪成为将振动连续地记录在滚筒上的标准仪器。

20世纪初，有关固体在流体中运动规律知识的增长是惊人的。在流体(空气)中运动的最重要机器是飞机(第33章)；飞艇也曾流行一时[30]，但到1940年就销声匿迹了。设计师们各自运用不同的原理来设计飞机，其中包括旋转机翼的飞机：靠动力旋转机翼的飞机(直升机)，或靠牵引螺旋桨前进运动使机翼旋转的飞机(旋翼机)[43]。从风洞模型试验获得的关于流线型和固体表面上流体边界层作用的数据，对于一切涉及高速流体运行的机器都具有重大意义。人们所积累

的关于水力学（第 44 章）知识的主要部分，对于航空工程师来说没什么用处。机械工程师所惯用的经验公式和安全系数，难以适合飞机设计的严格要求[28]。1920—1930 年所取得的进展，导致机械工程师放弃水力学而采用流体力学作为自己的主要课题。1901 年，普朗特（L. Prandtl）[29]率先进行了这方面的研究，确立了边界层理论，并在物理学基本定律的基础上用简单的数学关系阐明了流动问题的基本性质。其他国家也随之进行了同样的探讨。得到公认的边界层理论，再加上类比分析法，就形成了研究流动流体及其边界之间热传导的基础，如在高炉、锅炉、汽化器、冷凝器和所有热交换器中的热传导问题。从 20 世纪 20 年代起就开始应用热传导计算方法的化学工程师，现在理所当然地成了这方面的专家。

许多机械工程师往往由于数学方法运用得不够熟练，而反对以科学分析方法代替经验数据方法。澳大利亚的米歇尔（A. G. M. Michell）和美国的金斯伯里（A. Kingsbury）却不随波逐流，20 世纪初他们各自独立地发明了可倾瓦块推力轴承[31]。这是科学分析的一项优秀成果，它使得大型船舶能够省掉一排排止推轴环和冷却装置，这些装置以前是为了防止推进器推力使发动机从船壳脱出所必备的，而现在代替它们的是单个轴承。然而这一发明当时并没被采用，直到 1914 年德国才把它用在战舰上。另一项发明是液压传动领域中的弗廷格（Fottinger）转矩变换器[32]，它后来被具有更高效率的人字齿轮传动装置和液力飞轮所代替。德国、美国、英国和瑞典都参与了这些装置的开发[33]。液力联轴器得到普遍应用，它可以防止活塞发动机沿输出轴的振动；到 1935 年，水力发电厂已经使用非常大的液力联轴器。

在像柴油机的燃料喷射系统这样的超高压油液管道系统开始得到应用时，人们对管道中波动作用进行了研究。通过液体波动作用支撑了凿岩机和铆钉机产生动力的工作原理。这一领域的先驱是康斯坦丁

内斯科(G. Constantinesco)[34]。

一种依靠可控气流和液流而运行的重要装置是浮子室式化油器。它自动地向汽油发动机送去节流阀开口所要求的一定数量的燃料。另一种以流体流动为基础并得到普遍使用的机器，是家用真空除尘器[35]。

这个时期，热机领域中所发生的变化并不是通过某个重大发明，而是通过许多小的改进，对世界各地的物质文明产生了重大影响。早在20世纪初，热气机已不再流行，几乎被废弃[36]。它效率低，重量大，价格高，因此大量地被小巧的电动机所代替。煤气机[37]的效率很高，但这个时期也开始衰落，因为在更高压力下工作的柴油机具有更高的热效率；在某些情况下，它被汽轮机所代替，因为汽轮机所需的空间较小，且易于维护。

1930—1950年间，汽油发动机和高速柴油机有了许多改进。某些改进源自英国里卡多(H. R. Ricardo)[38]的工作。他发现了汽缸中使燃料混合的湍流作用，从而保证了快速燃烧。他还意识到，汽缸中混合燃料的爆震现象限制了发动机的输出功率和经济性。后来，美国的米奇利(T. Midgly)和博伊德(T. A. Boyd)发现，在汽油中添加微量的四乙基铅可以抑制爆震倾向。这在燃气动力学中得到了解释：铅妨碍了氧与燃料分子的正常结合过程。机械喷油系统使柴油机得到了改进。二冲程柴油机已普遍用作小型高速固定式发动机和大型船用发动机，如具有位相稍有差异的对置活塞的道克斯福特(Doxford)发动机[39]。

在内燃机上进行成功的试验，需要依靠测量发动机性能的专门仪器，特别是发动机示功器——早在1800年由瓦特(James Watt)发明出来。1840年，英国的霍普金森(B. Hopkinson)研制出单镜面光学示功器，这是由各种设计人员设计的一系列相似仪器中的第一个。1921年，出现了法恩伯勒(Farnboro)示功器[40]，它属于压力平衡型，是

在法恩伯勒皇家飞机研究院研制出来的，用来探测飞机发动机在飞行中的性能。发动机电子式示功器是在1940年以前出现的，它使用无重量的电子束，克服了质量大的物质在高速运动中所固有的困难。

20世纪早期，在各种原动机中，汽轮机（第41章）首屈一指。它是能在陆上和海上产生大量能量的最合适机器[41]。1907年，它的热效率是18%；到了1940年，则达到了38%。蒸汽锅炉的热效率也有所提高，并采用了压力循环装置。

许多工艺过程需要运用和调节大量的空气，不仅蒸汽锅炉是这样，而且矿井和建筑物的通风设备也是这样。空气必须经过过滤、加热或冷却，湿度也必须受到控制，这些都是暖气和通风工程师所要着手进行的工作。在制冷方面（第V卷，边码45）继续使用经过改进的压缩方法，从而使小型家用冰箱得以普及，无毒的制冷剂——氟利昂——也得到应用。在20世纪头10年里，瑞典的普拉顿和芒特斯公司（Platen and Munters）把一种叫作Electrolux（电活性）的连续吸收器投放市场。这种装置不需要泵，而是通过对发生器加热使制冷液循环流动。这个循环之所以得以维持，在于系统不同部位液体密度的差异所引起的对流作用[42]。

990

直到20世纪60年代，空间飞行器（第35章）是工程上取得的最伟大成就，它最大限度地利用了现有的各种科学知识。这主要是苏联和美国从事的技术领域，但一些重要的辅助工程成果却是在别的地方作出的。英国的主要贡献是由洛弗尔（Bernard Lovell）爵士［设计师赫斯本德（H. C. Husband）］建造的直径达250英尺（76米）的巨型可控式射电望远镜。它能以12英尺（3.7米）的精度追踪轨道上的人造卫星[44, 45]。它的构架重达2000吨，并保持必要的刚性；碗状反射罩重80吨，装在重800吨的支架上，并悬吊在离地面180英尺（55米）的枢轴上。俯仰装置利用了“皇家索夫林号”（Royal Sovereign）军舰上的重炮炮架。塔身坐落在与地平面平行的绕枢轴中

心转动的径向重型桁架上，以确定其方位轴塔身被安装在转向架上，转向架在直径为320英尺（97.5米）的双列轨道上运动。方位轴是通过4个转向架来带动的。俯仰装置是由装在中心柱中长50英尺（15米）的钢管来传递动力的。这个装置能够发射和接收无线电信号。自这个装置建成以后，短波接收器技术有了很大改进，接收范围更广、瞄准精度更高的较小装置已被制造出来并投入使用。

直到第二次世界大战时，人们还认为超音速飞行是不可能的，但惠特尔（Frank Whittle）[46]发明的喷气推进发动器打破了这一认知。他在1930年注册了自己的第一个专利。但是直到1941年，他才真正实现了喷气推进的飞行。战争即将结束前，德国的V-1飞弹运用了相似的原理。速度稍低的现代飞机是由燃气轮机通过螺旋桨驱动的，喷出的废气加大了推力。这些涡轮螺旋桨飞机或涡轮螺旋桨发动机，一般是为商用航空公司生产的[47, 48]（第33章）。

第二次世界大战以后，人们普遍期望燃气轮机（第40章）能够在很多方面代替蒸汽轮机。然而，这个愿望并没有实现，主要原因在于燃气轮机在极高的温度和速度下持续运转会提升成本。

热传导领域在第二次世界大战后取得的重大进展主要集中在流体流动、流线型流动以及在超音速流和脉冲流条件下的冲击波等方面的研究[49, 50]。人们对流体流动现象的认识达到了很高的水平，出现了气垫船这类有趣的力学装置。它借助空气垫的支撑，在略高于地平面的空间飞行[51]。其他方面的进步包括空气润滑轴承的推广使用，以及把涡流理论应用于涡轮机叶片的设计。

991

关于原子能在军用和民用上的发展[52]，本书的其他章节已作了详细叙述（第Ⅵ卷，第10章、第11章）。我们在这里只需强调，它也是一个庞大的工程项目，必须运用很多学科的知识。实际上，甚至在20世纪肇始以前，人们在对原子性质的研究中已看到这个项目的苗头，然而那时认为没有实际应用的可能，就像法拉第发现的电那样。

第二次世界大战大大激发了这方面的工作，到1942年已显示出实现受控裂变反应的可能性。

战后，体现新原理的装置还包括没有连杆或旋转部件的自由活塞柴油机[53]。它是由法国的佩斯卡拉（Pescara）首创的，用于建筑工程所需的空气压缩机。后来，它又被用作燃气轮机上的气体发生器。另一种新机械是荷兰飞利浦公司的制冷机，它可以在常压下把空气液化[54]，用来为医院和实验室提供不含杂质的液化空气。人们通常认为1940年以后，由机械的完善和广泛使用所导致设计和施工上的进步已为人们所知[55]。依靠电子元件进行精确计算的机器代替了机械运算的机器[56]。电气仪表用来记录机器的性能。在需要快速反应的地方，电气控制器和传感器代替了人力控制。由穿孔卡或磁带来控制机床，导致了“数控机械加工”的产生，并使精度和速度达到了一个新水准[56]。

1940年以后，在金属成形方面，成形方法比切削方法更受欢迎。使用足够的动力可以对金属进行冷加工，如滚轧、锻造和压制，所需时间只有其他方法的几分之一。而且，作为冷成形工艺的一个成果，其最终金属制品通常具有良好的金相组织。例如，当时用途很广、需要量很大的翅片管，就可以用模具挤压的方法来制造。

992

塑料在20世纪初以前就已经在使用了，但其广泛使用则是第二次世界大战以后的事。这不仅是由于出现了各种具有不同化学性质的塑料，如聚乙烯、聚酰胺，而且还出现了加工成形的新方法，特别是大件物品的制造方法。从某些方面看，塑料比当时使用的金属具有更高的抗拉强度、更大的可塑性和更好的抗腐蚀性。塑料的特殊物理性质使其具有另外一些令人感兴趣的特性。例如，聚四氟乙烯（PTFE）的摩擦系数之小出人意料，自然就具有一些特殊的用途，但其成本太高，且不易加工。对于塑料物理性质的进一步了解，使人们可以采用大型铸模机和全新的技术来生产大的塑料物件。其中之一

是由玻璃纤维增强的快凝塑料，它在木模中成形，有多项用途，如制造车身和船身；另一个用途是制成用作建筑材料的塑料板。一个有趣的例子是霍索恩（W. R. Hawthorne）于1956年设计的“天龙号”（Dracone）驳船。它是用涂上橡胶的尼龙制成的一根大“香肠”，用来运输石油。它在满载时沉于水面下由轮船拖运，在回程中则可卷起来放在轮船的甲板上[57]。拖曳装置的设计，也产生了大量流体力学问题。

塑料的出现，还使应力分析的新技术成为可能。1850年，麦克斯韦（Maxwell）曾提出过光弹性法的设想。1926年，科克尔（E. G. Coker）[11]提出二维方法，使用透明的加载模型，该模型在偏振光照射下会出现一个特征彩色图案。这一思想被进一步加以发展。某些塑料，如环氧树脂，不仅具有光弹性，而且还能在室温下记住材料中原先产生的内应力，其方法是在高温下加荷载，然后冷却卸载。所以，这就有可能借助所谓的“冻结应力”技术，来研究三维试样中的应力系。该试样要切成若干薄片，在偏振光下观察各自的应力图案[58]。应力分析实验的另一进展，是把一种特殊的塑料涂在金属表面上，在荷载下，涂层出现裂纹，根据裂纹的宽度和分布状况可以度量金属表面的应力[59]。在第二次世界大战中，美国研制出一种精巧的应力分析方法，这就是电阻应变计的使用[60]。把小块的电阻片粘贴在受力构件的表面上，只要观察电阻的变化就可以检验一个结构的任何部分的工作应力。早在1856年，开尔文（Kelvin）就已指出，带电流的金属线受到拉力时会改变电阻，其变化量与金属线的拉伸应变成正比。许多这样的创新都需要大量的技术知识和技能，才能够得到开发。

993

相关文献

[1] Stodola, A. *Steam and gas turbines* (trans. L. C. Loewenstein) . McGraw-Hill, New York. 1927.

[2] Gibbs-Smith, C. H. *The aeroplane*. Science Museum Publication, H.M.S.O., London. 1960.

[3] Brooks, P. W. The development of the aeroplane. Cantor Lecture, *Journal of the Royal Society of Arts*, January, 1959.

[4] Andrade, E. N. da C. On the viscous flow and allied phenomena in metals. *Proceedings of the Royal Society*, A., **84**, 1, 1910.

[5] Bailey, R. W. Utilisation of creep test data in engineering design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **131**, 131, 1935.

[6] Smith, F. E. Plant for the production of petrol by the hydrogenation of bituminous coal. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **133**, 139, 1936.

[7] Barber, A. T., and Taylor, A. H. High pressure plant for experimental hydrogenation processes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **128**, 5, 1934.

[8] Parsons, R. H. *The History of the Institution of Mechanical Engineers*, p. 95. Institution of Mechanical Engineers, London. 1947.

[9] Dorey, S. F. Large scale torsional fatigue testing of marine shafting. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **159**, 399, 1948.

[10] Haigh, B. P. *Journal of the Institute of Metals*, **18**, 1917.

[11] Coker, E. G. Elasticity and plasticity. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, No.5, 897, 1926.

[12] Sears, J. E. Gauging and metrology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **157**, 298, 1947.

[13] Carson, T. Gauging in machine tool manufacture. Symposium on machine tool practice. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **141**, 19, 1939.

[14] Rolt, F. H. *Cauges and fine measurements*. Macmillan, London. 1929.

[15] Strassman, W. P. *Risk and technological innovation*. Cornell University Press, Ithaca. 1959.

[16] Taylor, F. W. *On the art of cutting metals*. American Society of Mechanical Engineers. 1907.

[17] Schlesinger, G. Machine tool tests and alignments. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, **138**, 59, 1938.

[18] Pullen, V. E. X-rays in engineering practice. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, **11**, 1133, 1930.

[19] Bragg, W. H. The application of X-rays to the study of the crystalline structure of materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, No.3, 751, 1927.

[20] Woodbury, R. S. *The history of the grinding machine*. M. I. T. Press, Cambridge, Mass. 1959.

[21] Chamberland, H. J. Friction cutting of metals by bandsaws. *Machinery*, **52**, No. 2. 1945.

[22] Do All instruction programs, Vol. 1. The Do All Co. 1945.

[23] Pomeroy, L. E. *Engineering heritage*, p. 164. Heinneman, London. 1963.

[24] Inglis, C. E. Gyroscopic principles and applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **151**, 223, 1944.

[25] Sperry, E. *The gyroscope through the ages*. Sperry Gyroscope Co., U.S.A. 1960.
Hughes, T. P. *Elmer Sperry : inventor and engineer*. Johns Hopkins Press, Baltimore and London. 1971.

[26] Hodgson, J. L., and Robinson, L. L. Development of automatic control systems for industrial and power station boilers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **126**, 59, 1934.

[27] Parsons, R. H. *The development of the Parsons steam turbine*, p.142, Constable, London. 1936.

[28] Karman, T. von, and Biot, M. A. *Mathematical methods in engineering*. McGraw-Hill, New

York. 1940.

[29] Prandtl, L., and Tietjens, O. G. *Applied hydro- and aero-mechanisms.* McGraw-Hill, London. 1934.

[30] Davy, M. J. B. *Aeronautics. Lighter-than-air aircraft.* Science Museum Publication, H.M.S.O., London. 1950.

[31] Barwell, F. T. *Lubrication of bearings.* Butterworth, London. 1956.

[32] Sinclair, H. Problems in the transmission of power by fluid couplings. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, **139**, 83, 1938.

[33] Town, H. C. Recent developments in the use of hydraulic power. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **143**, 129, 1940.

[34] Constantinesco, G. *The theory of wave transmission.* Haddon, London. 1922.

[35] Booth, H. C. The origin of the vacuum cleaner. *Transactions of the Newcomen Society*, **15**, 85, 1934–1935.

[36] Finkelstein, T. Air engines. *The Engineer*, April, 1959.

[37] Lanchester, F. W. The gas engine and after. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **136**, 195, 1937.

[38] Ricardo, H. R. *The high speed internal combustion engine*(4th edn.). Blackie, London. 1953.

[39] Purdie, W. H. Thirty years' development of opposed piston propelling machinery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **162**, 446, 1950.

[40] *Symposium on indicators.* Institution of Mechanical Engineers, London. 1923.

[41] Pearce, S. L. Forty years' development in mechanical engineering plant for power stations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **142**, 305, 1939.

[42] Moyer, J. A., and Fittz, R. U. *Refrigeration*, p.190. McGraw-Hill, New York. 1932.

[43] Sikorski, I. I. The transport helicopter. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **169**, 1183, 1955.

[44] Lovell, B. *The exploration of outer space*, p.8. Oxford University Press, London. 1962.

[45] Kuiper, P. G., and Middlehurst, B. M. (eds.) *Stars and stellar systems*, p.197. University of Chicago Press. 1966.

[46] Whittle, F. Early history of the Whittle jet propulsion gas turbine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **152**, 419, 1945.

[47] Banks, F. R. The aviation engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **162**, 433, 1950.

[48] Wimperis, H. E. Research and development in aeronautics. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **152**, 353, 1945.

[49] Wrangham, D. A. *The elements of heat flow.* Chatto and Windus, London. 1961.

[50] Lander, C. H. Review of recent progress in heat transfer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **148**, 81, 1942 ; **149**, 117, 1943.

[51] Croome, H. *Hovercraft.* Jarrold, Norwich. 1960.

[52] Gibb, C. D. Some engineering problems in connection with the industrial application of nuclear energy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **171**, 22, 1957.

[53] Farmer, H. O. Free piston compression engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **156**, 253, 1947.

[54] Kohler, J. W., and Jonkers, C. O. Fundamentals of the gas refrigerating machine. *Philips Technical Review*, **16**, 69, 195.

[55] Giedion, H. L., and Watson, H. H. *Mechanization takes command.* (2nd edn.). Oxford University Press, London. 1955.

[56] Electronic digital computers for solving engineering problems. *Engineering*, p. 349, 9 September 1953.

[57] Hawthorne, W. R. The early development of the Dracone flexible barge. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **175**, 52, 1961.

[58] Fessler, H., and Rose, R. T. Photo-elastic investigation of stresses in the heads of thick

pressure vessels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **171**, 73, 1957.

[59] Clenshaw, J. W. Measurement of strain in components of complicated form by brittle lacquer coatings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **152**, 221, 1945.

[60] Bristow, J. R. *et al.* Use of wire resistance strain gauges in automobile engineering research. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **163**, 27, 1950.

参考书目

American Society of Tool Engineers. *Tool engineer's handbook*. McGraw-Hill, New York. 1951.

Aughtie, F. Electrical resistance wire strain gauges. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **152**, 213, 1945.

Baxter, A. D. Rockets in space. *Journal of Stephenson Engineering Society King's College, Newcastle-upon-Tyne*. 2(No. 4), 7, 1959–1960.

Barwell, F. T. *Lubrication of bearings*. Butterworth, London. 1956.

Bevan, T. *Theory of machines*. Longmans Green, London. 1939.

Bowden, F. P. Recent studies of metallic friction. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **169**, 7, 1955.

Brame, J. S., and King, R. O. *Fuel*(4th edn.). Arnold, London. 1935.

Burstall, Aubrey F. *A history of mechanical engineering*. Faber and Faber, London. 1963.

Carpenter, H., and Robertson, D. *Metals*. Oxford University Press, London. 1939.

Constant, H. Early history of the axial type of gas turbine engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **153**, 411, 1945.

Crowther, J. G. *Discoveries and inventions of the twentieth century*. Routledge and Keegan Paul, London. 1955.

Dalby, W. E. *Steam Power*(2nd edn.). Arnold, London. 1920.

Davy, M. J. B. *Aeronautics. Heavier-than-air aircraft. Part i. Historical survey*. Science Museum Publication, H.M.S.O., London. 1949.

Ewing, J. A. *The steam engine and other heat engines*(3rd edn.). Cambridge University Press, London. 1908.

——. *The mechanical production of cold*. Cambridge University Press, London. 1908.

Field, Foster P. *The mechanical testing of metals and alloys*. Pitman, London. 1948.

Fishenden, M., and Saunders, O. A. *Calculation of heat transmission*. H.M.S.O., London. 1932.

Freedman, P. *Principles of scientific research*. Macdonald, London. 1949.

Gardner, G. W. H. Guided missiles. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **169**, 30, 1955.

Gartmann, H. *Science as history*. Hodder and Stoughton, London. 1960.

Gibson, A. H. *Hydraulics and its applications*(4th edn.). Constable, London. 1930.

Goldstein, S. (ed.) *Modern developments in fluid mechanics*. Oxford University Press, London. 1938.

Goodman, J. *Mechanics applied to engineering*. Longmans Green, London. 1930.

Hoover, T. J., and Fish, J. C. C. *The Engineering Profession*. Stanford University Press. 1941.

Den Hartog, J. P. *Mechanical vibrations*. McGraw-Hill, New York. 1940.

Lanchester, F. W. *Aerial flight: aerodynamics*. Constable, London. 1907.

——. *Aerial flight: aerodonetics*. Constable, London. 1908.

Larsen, E. *Atomic energy*. Pan, London. 1958.

Lea, F. C. *Hydraulics*(6th edn.). Arnold, London. 1938.

Macmillan, R. H. *Automation, friend or foe?* Cambridge University Press, London. 1956.

McAdams, W. H. *Heat transmission.* McGraw-Hill, New York. 1933.

Morley, A. *Strength of materials* (9th edn.) . Longmans Green, London. 1940.

Moyer, J. A., and Fittz, R. U. *Refrigeration.* McGraw-Hill, New York. 1932.

Newitt, D. M. *Design of high pressure plant and properties of fluids at high pressure.* Oxford University Press, London. 1940.

Newman, R. P., and Houldcroft, P. T. Welding-engineering and metallurgical aspects. *Chartered Mechanical Engineer*, **8**, 214, 1961.

Ower, E. *Measurement of air flow* (2nd edn.) . Chapman and Hall, London. 1933.

Piercy, N. A. V. *Aerodynamics.* English Universities Press, London. 1937.

Porter, A. *An introduction to servo-mechanisms.* Methuen, London. 1950.

Prandtl, L. *The physics of solids and fluids.* (2nd edn.) . Blackie, London. 1936.

——, and Tietjens, O. G. *Applied hydro- and aero-mechanisms.* McGraw-Hill, London. 1934.

Pye, D. R. *The internal combustion engine.* (2nd edn.) . Oxford University Press, London. 1937.

Ricardo, H. R. *The high speed internal combustion engine.* (4th edn.) . Blackie, London. 1953.

Rollason, E. C. *Metallurgy for engineers.* Arnold, London. 1939.

Rolt, F. H. *Gauges and fine measurements.* Macmillan, London. 1929.

Southwell, R. V. *Theory of elasticity.* Cambridge University Press, London. 1936.

Stodola, A. *Steam and gas turbines* (trans. L. C. Loewenstein) . McGraw-Hill, New York. 1927.

Timoshenko, S. P. *History of strength of matericals.* McGraw-Hill, New York. 1953.

Walshaw, A. C. *Heat engines.* (4th edn.) . Longmans Green, London. 1956.

第40章 内燃机

林伍德·布赖恩特（LYNWOOD BRYANT）

997 1900年，蒸汽活塞式发动机成为人们心目中继“马匹”之后的最中意的原动力。蒸汽动力机装置笨重，机型小，不经济，因此从未严重地威胁到农庄中的畜力，也从未在公路车辆上取得很大成就。然而，20世纪初它在铁路、船舶和主要的大工业中占据了统治地位。到1950年，它的地位被另一种热机所取代，这种热机由于燃烧在内部进行，比蒸汽机要简单、轻便得多。

蒸汽动力机装置采用外部燃烧的方式即燃料在发动机外面的燃烧室中燃烧，以加热锅炉内的水和蒸汽，然后，蒸汽被送入与锅炉分离的发动机，在那里当膨胀着的蒸汽驱动活塞（或涡轮叶片）运动时，其热能（或部分热能）转化为功。在内燃动力装置中，热发生器和发动机合为一体，即燃料在有活塞运行的汽缸里燃烧，燃烧物本身就是驱动活塞（或涡轮）的工作流体。这种发动机可以避免蒸汽动力装置中的一些能量损耗，并且它在许多应用中，尤其是在车辆中，更加方便和经济。

在这半个世纪中，3种类型的内燃机逐渐发展起来，并取代了各个不同功率区段的蒸汽活塞式发动机。首先出现的是汽油发动机。它依据奥托循环运转原理，即把易燃的燃油和空气的混合物吸入汽缸，用一个活塞冲程来压缩它，在接近最高压缩点时通常用电火花点火，

开始做功冲程。这种机器发展成一种极轻便且通用的发动机，是像家用汽车或更小一些交通工具的理想动力；而且它仍是目前唯一适合于飞机的实用动力。它现在还在以每月数百万台的速度生产着，并已进入所有发达国家的人民生活中，其他机器从未到过这种程度。

998

继之出现的发动机是柴油机。它吸入和压缩的是普通空气，而不是像奥托发动机那样吸入并压缩易燃混合物；另外，它把空气压缩得很厉害，约为原体积的1/16左右。然后，它把燃油喷入压缩空气中。由于压缩空气温度很高，所以没有电火花也能点火。柴油机比奥托发动机笨重，通常使用与奥托机不同的更为廉价的油料。事实表明它很适合比家用汽车更大的车辆，尤其适用于机车、轮船及某些固定设备。

燃料在汽油机（奥托机）或柴油机中，不像在蒸汽动力装置中那样连续燃烧。燃料间歇地燃烧，每一做功冲程开始时急骤地燃烧一次。在这些间歇燃烧的发动机中，燃料必须在非常确切的时间点燃，并且高速发动机每秒中要点燃许多次，因此点火是个关键问题。

最后出现的第3种内燃机是燃气轮机，一种具有连续燃烧优点的旋转活塞式发动机。燃料不断喷入通过燃烧室的压缩空气流中。炽热、膨胀着的气体驱动涡轮。涡轮驱动回转压缩机，产生压缩空气流。它和蒸汽动力装置一样，只有大机型才是经济的。但是，它比功率相当的蒸汽动力装置要轻便得多，而且很适应高速和高空运转。它彻底改变了20世纪50年代空运事业的面貌，而柴油机则彻底改变了铁路动力的面貌。

40.1 奥托发动机

汽油发动机，或称奥托发动机，到1901年已得到充分发展。最初它是一种笨重的低速发动机，燃烧的是照明用煤气（第V卷，边码158），因此只能用作固定式动力装置。发明家像对待任何一种新动

力一样，总是渴望将其运用于自推进车辆。但它在被用于汽车（第30章）之前，必须进行许多根本性的改造。首先，原始的奥托发动机因过于笨重而不能用于上坡，其每马力的重量是自推进车辆允许值的10倍。其次，煤气发动机必须改为使用液态燃料的发动机，而且由于在道路上行进的发动机的负荷是波动的，设计者必须知道对于各种速度和负荷如何按恰当的比例混合燃料和空气，因为这种发动机对燃料质量及“燃料-空气”之比非常敏感。此外，如果要使发动机适用于汽车，既轻便又有足够的功率，它必须快速运转，例如说500—1000转/分，即相当于原始奥托发动机转速的5—10倍。对于老式的点火系统（第V卷，边码159）来说，这转速太快了，因此必须设

999

计一种可以在高速下精确控制的新式点火系统。这种类型的发动机还需要冷却，这在较高功率时是一个严重的问题；另外在慢速运转时，它有失速的趋势，因此汽车需要一个离合器和一个能使发动机高速运转而车轮却以不同速度转动的变速传动装置。另外，启动发动机也是一个问题，尤其是汽车发动机，它必须频繁地停机与启动。众所周知，汽油发动机的启动变化无常。

汽化、点火、冷却、传动和启动这5个问题是内燃机的特有问题，而这些问题在蒸汽机中是不存在的。通过长期的发展过程，这些问题最终都得到了解决。

最早的汽车发动机可能是为改良自行车而设计的非常简单的发动机，这种改良自行车装有一两个1—2马力功率的汽缸，是第一批轻型大众车辆。与此同时，富有运动家的豪华旅游车或赛车（常常是同一辆车）需要的功率大概是上述功率的10倍。1895年以后，汽车竞赛是所有西方国家流行的运动项目，并且是发动机设计师的重要试验场。由迈巴赫（Wilhelm Maybach）为第一辆梅塞德斯（Mercedes）赛车（图40.1）所设计的最著名的早期发动机，可以说明20世纪初的技

1000

术发展水平。迈巴赫设计的发动机已具备了成熟汽车发动机的主要特

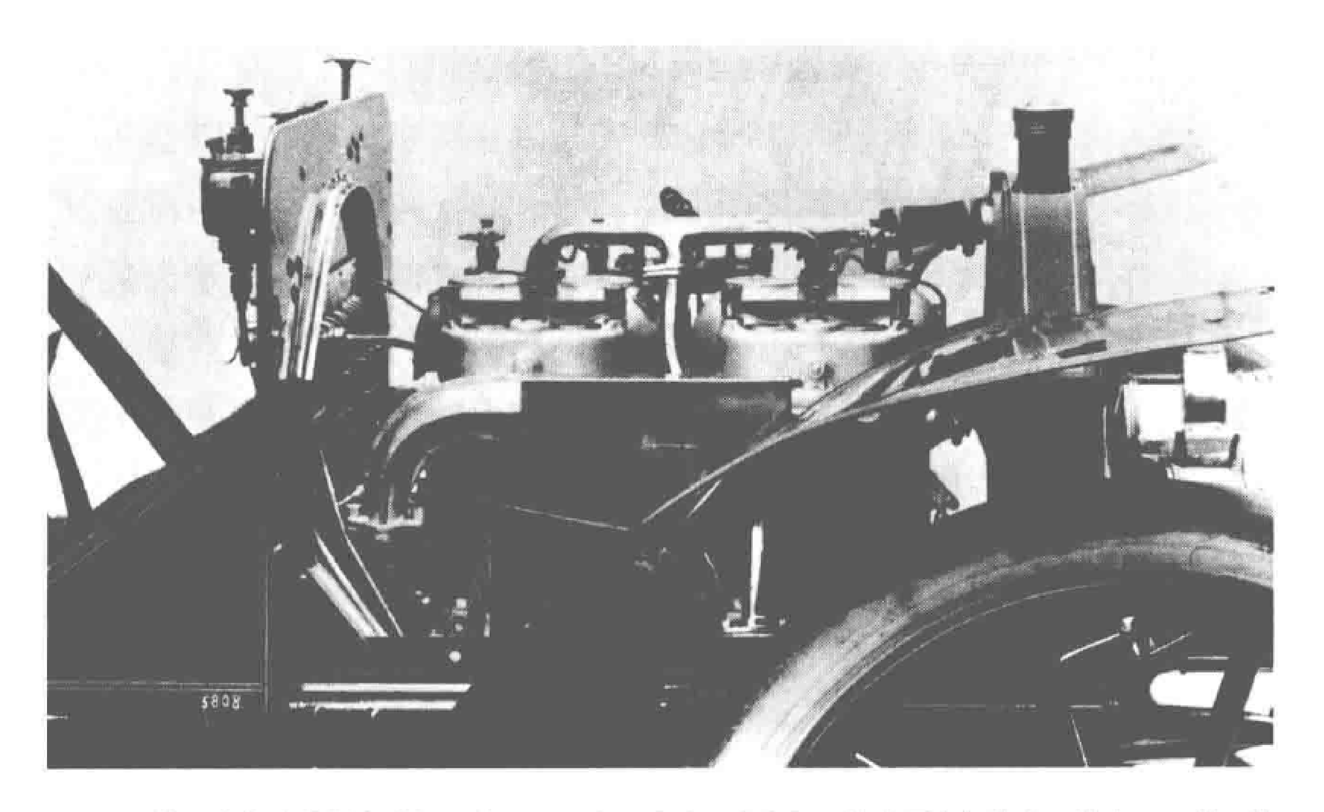


图 40.1　第一台梅塞德斯发动机，造于 1900 年。它有 4 个汽缸，铸在两个缸体中，转速 1000 转 / 分，输出功率为 35 马力，使这辆著名赛车的最高速度达到 85 千米 / 时。比重量是 6.8 千克 / 马力，约为同时代发动机的一半。

点：变速齿轮传动机构，现已成为标准部件；喷雾式化油器，成为在变速下提供合适混合物这一问题的标准解决方法；熟悉的蜂窝式散热器，使高效能成为可能，并将必须携带的冷却水减少一半。点火由电火花来完成，但它是利用汽缸中一个断续装置来产生火花的，而不是用现代高压火花系统，高压火花系统在 1904 年以前还没有产生。当这种发动机于 1901 年在尼斯市赛车周中首次亮相时，赢得了所有的胜利。在 1914 年以前，它每年推出一种马力更大的型号，在欧洲的赛车中拥有绝对的优势。

在早期所有发动机中，人们最熟悉的是福特 T 型汽车（1908—1927 年）的发动机，它把各地的数百万人带入了由内燃机（图 40.2）创造的新世界。这种发动机生产了 1600 万台，在此过程中进行了不断改进，但本质上并没什么改变。到 1908 年，点火、化油和冷却方面的主要问题都已得到很好的解决，像福特汽车用的这种简单发

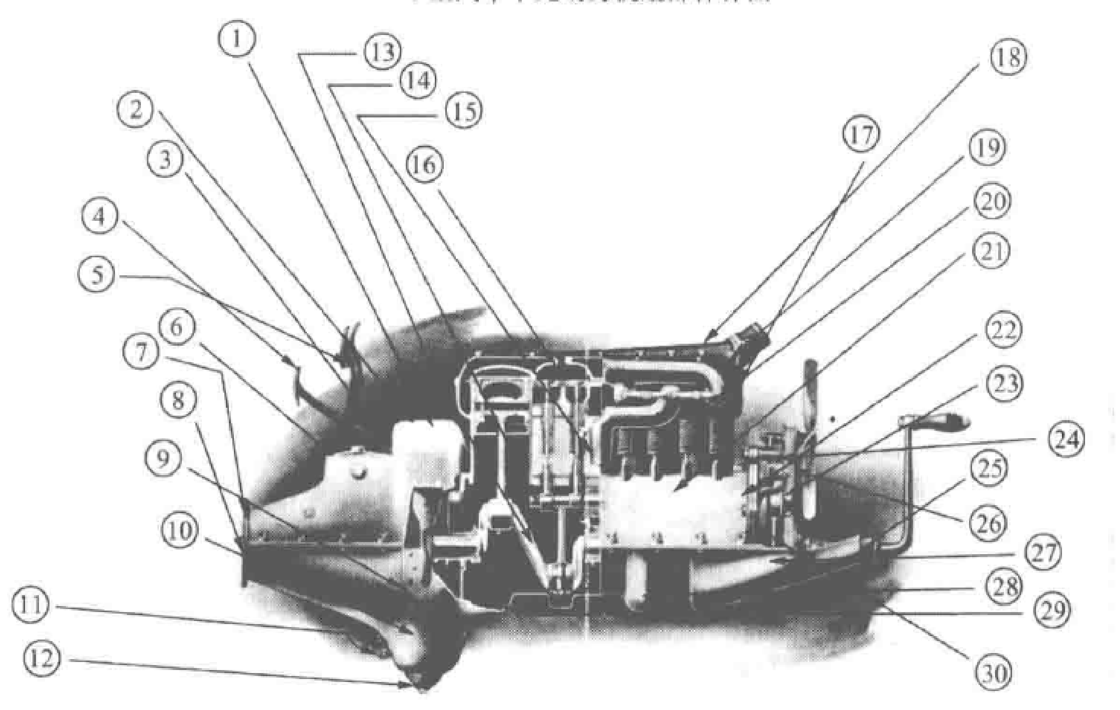


图 40.2 福特 T 型发动机简单而坚固，1800 转 / 分，可靠输出功率为 20 马力，足够使 T 型汽车以 65 千米 / 时的速度行驶。
①变速箱铝盖；②磁电机接头；③前进速度踏板；④倒车踏板；⑤制动踏板；⑥内装变速器、磁电机和飞轮；⑦内装万向接头的前半部；⑧伸出的曲轴箱下半部；⑨变速箱在机油中工作；⑩机油槽壳，变速箱外壳的一部分；⑪ 油位窗；⑫ 放油嘴；⑬ 三轴承曲轴；⑭ 凸轮和凸轮轴衬；⑮ 右侧的进气排汽道；⑯ 因缸头是可拆去的零件，燃烧室要加工精确；⑰ 钒钢气阀弹簧；⑱ 温差环流冷却系统；⑲ 可拆的缸头；⑳ 铸在一个缸体内的 4 个汽缸；㉑ 和汽缸铸成一体的曲轴箱上半部分；㉒ 凸轮轴承的 3 个紧固螺丝中的一个；㉓ 前面的转换开关，易卸；㉔ 整套动力装置由此处供机油；㉕ 装在驱轴上的轴承构成三点式动力装置支承架的顶点；㉖ 具有弹性张力的鞣制皮带；㉗ 曲轴箱的下半部分；㉘ 机油槽；㉙ 恒定机油面装置；㉚ 浸泡在机油中的定时齿轮。

动机已能可靠地年复一年地运转，无须专门养护。福特对传动问题的解决方法是这个系统最重要的特征：此系统使用踏板操纵的行星变速器，虽难以理解却极易操作。它差不多就是一个自动变速装置：发动机一经发动，驾驶员就可以通过对踏板的简单动作来启动、变速和停车（与手刹车联锁），完全不需要特殊技能。这在当时是决定性的优点，那时人们通常认为学会驾驶汽油燃料汽车所需的对离合器、油门和变速杆之间的协调控制动作对男人来说是困难的，对女人来说则几乎是不可能的。虽然发明家们多年来一直在研究各种各样的自动启动器，福特汽车却仍然要用手摇曲柄来启动发动机，梅塞德斯也一样。

1910年，终于由凯特林(C. F. Kettering)设计了一种专门的由电池驱动的电动机，这种电机有足够的能力驱动发动机直至其点火。这种方法被迅速广泛地采纳了。它使汽油发动机轻松启动和运行。从此，用于公路车辆的蒸汽动力和电动力实际上被淘汰了。

奥托发动机是通用的，并特别适合于其主要市场——公路车辆。为此，生产出了成千种形状和尺寸，从单缸摩托车发动机到直列8缸和V形16缸发动机，后两种发动机是20世纪20年代和30年代传统的汽车动力。同时，它以日益增加的数量继续运用于其原来的用途，为小型装置提供稳定的动力。这些蒸汽动力装置是不经济的，1890年以后，出现了一种新的燃烧煤气的大型奥托发动机，这是为某些拥有大量低质气体燃料的地方工业设计的，或者可用在那些可以在现场经济地产生煤气的地方(图40.3)。

在农场电气化以前，诸如泵水、收割或播种等农场日常工作所需的动力，常常是由燃烧汽油或煤油、功率为2—5马力的简单奥托发

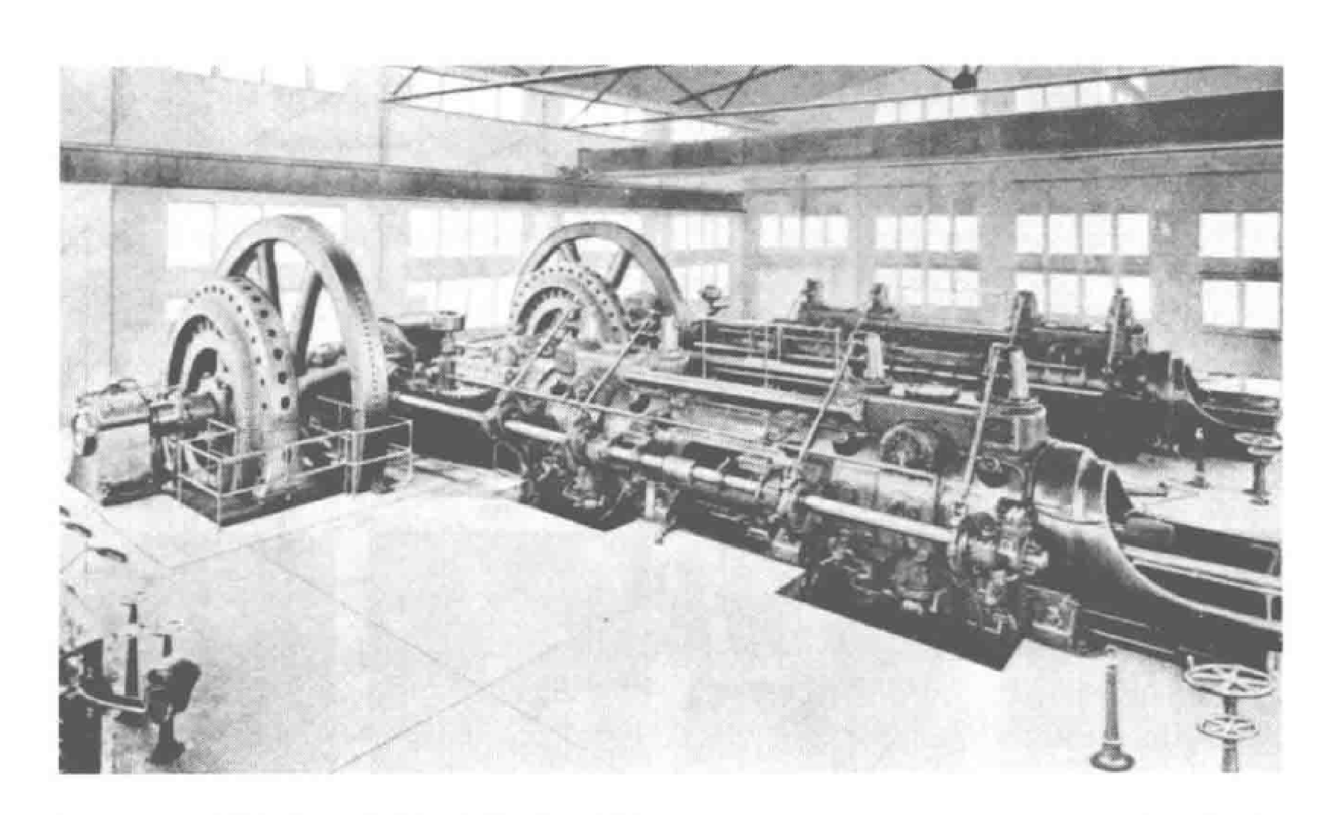


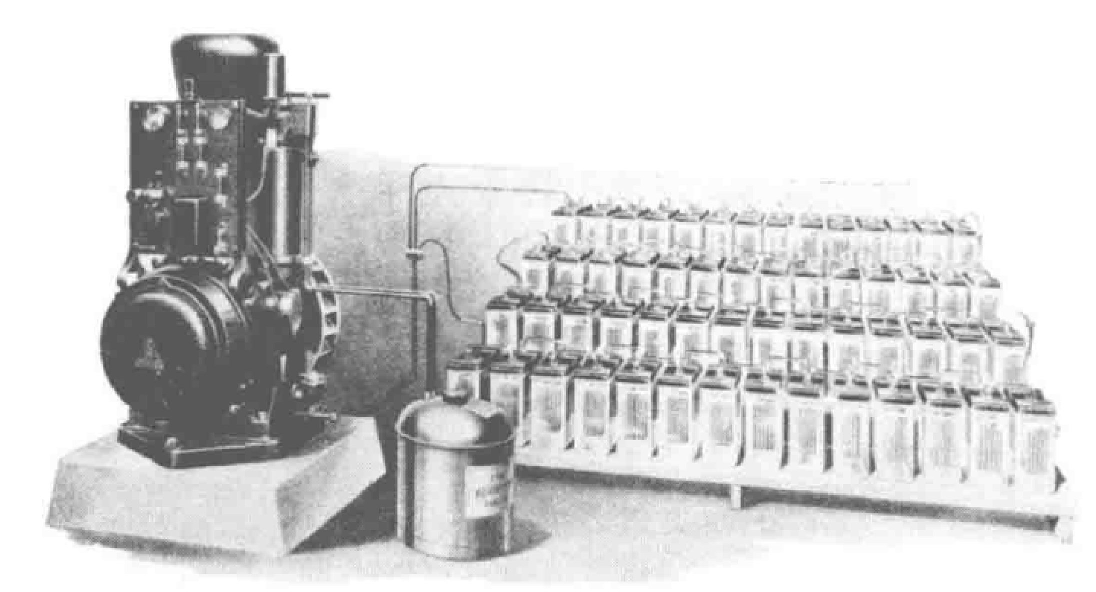
图40.3　一对阿利斯-查默斯双动式四冲程燃气发动机，每台带动一台750千瓦的发电机，造于约1915年，燃料是天然气。

动机提供的。发动机采用安置在水平汽缸上面的开式水箱进行冷却。1890—1940 年，有成百个制造商大量销售这种机器。也就在这个时期，繁重的农场工作逐渐被汽油拖拉机所取代，这是继汽车以后奥托发动机最重要的应用。拖拉机能够任意行驶，它借助动力输出端和辅助设备既可以完成以前由固定式发动机承担的轻活，也可以完成以前由耕地和牵引收割机械承担的重活。它取代了畜力，并且改变了 20 世纪 20 年代以来的农业经济。

1002

分散在各地的发电厂，城市中有自备电力的工厂、旅馆或办公楼，以及那些人口少、离电网又很远的农村，也常用奥托发动机作为原动机来发电。后来，在功率大于 30—50 马力的地方，柴油机取代了奥托发动机，而 1—6 马力（图 40.4）的小型发动机和发电机联合机组为那些电厂尚顾及不到的农场供电解难。

1003





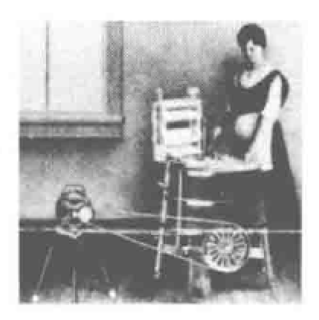






图 40.4　由一台单缸煤油发动机驱动的 1918 年便携式发电装置及其用途示例。

最适合这些发动机使用的燃料是汽油，但许多机器是为像煤油那样较重的油所设计的，这些油比汽油要便宜和安全，但汽化和点火却要难得多。这种重油发动机（oil engine，当时的称呼）通常带有一个加热室。在喷入汽缸以前，燃油在加热室里汽化并和空气相混合。其中有些叫作热球机（hot bulb）或半柴油机。它们并未采用柴油机的高压缩比。但一经启动，其中有些可以不用火花也能运行。普里斯特曼（Priestman）和阿克罗伊德（Akroyd）是早期的两种类型，在19世纪90年代就已发展成熟。到20世纪，它们已大量应用于固定作业、农场牵引机甚至相当数量的机车上，但最常用于渔船和其他小船上。

40.2 柴油机

内燃机基本上是由具有实践经验的机械师发明和研制出来的，他们并不怎么了解或关心能量转化的科学原理。柴油机（第V卷，边码163）却不同，它是1891年由狄塞尔（Rudolf Diesel）按科学原理设计出来的发动机。狄塞尔是一位工程师，他研究过热力学并相信自己能制造一台按卡诺循环原理工作的发动机。卡诺循环是1824年由卡诺（Sadi Carnot）首先提出来的，是学习热力学的学生所熟知的理想热机循环。

在理想的卡诺热机中，转换为功的热必须在最高循环温度时加入，而不引起温度的进一步升高。燃烧（如果是一台内燃机）必须在恒温下进行。狄塞尔认为发动机按下述程序工作就能获得等温燃烧，即实现理想的卡诺循环。首先，吸入冲程使汽缸内充满空气。活塞的第二个冲程是把空气压缩到很高的温度（高于燃料的着火点，这样机器不需要专门的点火装置）。然后在下一个冲程中，随着空气开始膨胀，燃油要按仔细计算好的速度喷入炽热的、正在膨胀的空气中以保持恒温。燃烧会使温度升高，而气体膨胀会使温度下降。如果这两种趋势达到平衡，近似的理想发动机就有可能产生。

1004

狄塞尔把上述想法付诸实践时遇到了许多困难，有理论上的，也有实际中的，他那台做好的机器和卡诺热机并不是十分接近。在经历了许多年的失败，最终他研制获得比其他热机更高的压缩比，从而使发动机具有更高的热效率。

燃油喷射问题过去是（现在仍然是）一个核心问题。在柴油机中，燃油必须精确地在最恰当的时刻（接近最大压缩点）以非常小且准确控制的数量，在非常高的压力下喷入汽缸。在燃油喷入汽缸后，它必须在几分之一秒的时间内和空气充分混合，以便能尽快点火，平稳燃烧。在奥托发动机中点火要容易得多，因为在进入汽缸时燃油和空气已混合好并可以立即燃烧。狄塞尔试制了几十种喷射和点火装置，他所能找到的最好方法是使一股带有少量燃油的压缩空气进入汽缸，将其雾化，并使其成为一股强烈的喷射流以通过密集的炽热空气。这个压缩空气系统作为标准的燃油喷射方式保持了一代人之久。然而，这种系统既笨重又复杂，压缩过程要吸收发动机相当大的一部分能量。只要柴油机还依赖空气压缩机和空气箱，它就不能成为发明者所期望的那种用途广泛的发动机。柴油机是几种可用的固定式重油发动机中的一种，分量相当重，并且比其所取代的蒸汽机要贵，但可望节省燃料。

狄塞尔在 1892 年为自己的发动机申请了专利。5 年后，他展出了一台能够运行的发动机。又过了 5 年，第一家柴油机制造厂——奥格斯堡（Augsburg）机械厂制造了一台在工厂技师专门照看下可整天负载正常运行的发动机。图 40.5 就是第一台成功的柴油机，它为一家工厂提供动力近 20 年。后来，几个国家的制造商加入到狄塞尔的事业中来，并且这种新型发动机开始在动力经济中找到了一席之地。1005 它通常用来取代工厂、泵站或独立电站的蒸汽机。到 1908 年，大约有 1000 台这种发动机在工作，通常是 50—100 马力，并且人们开始谈论以柴油机为动力的轮船和机车了。

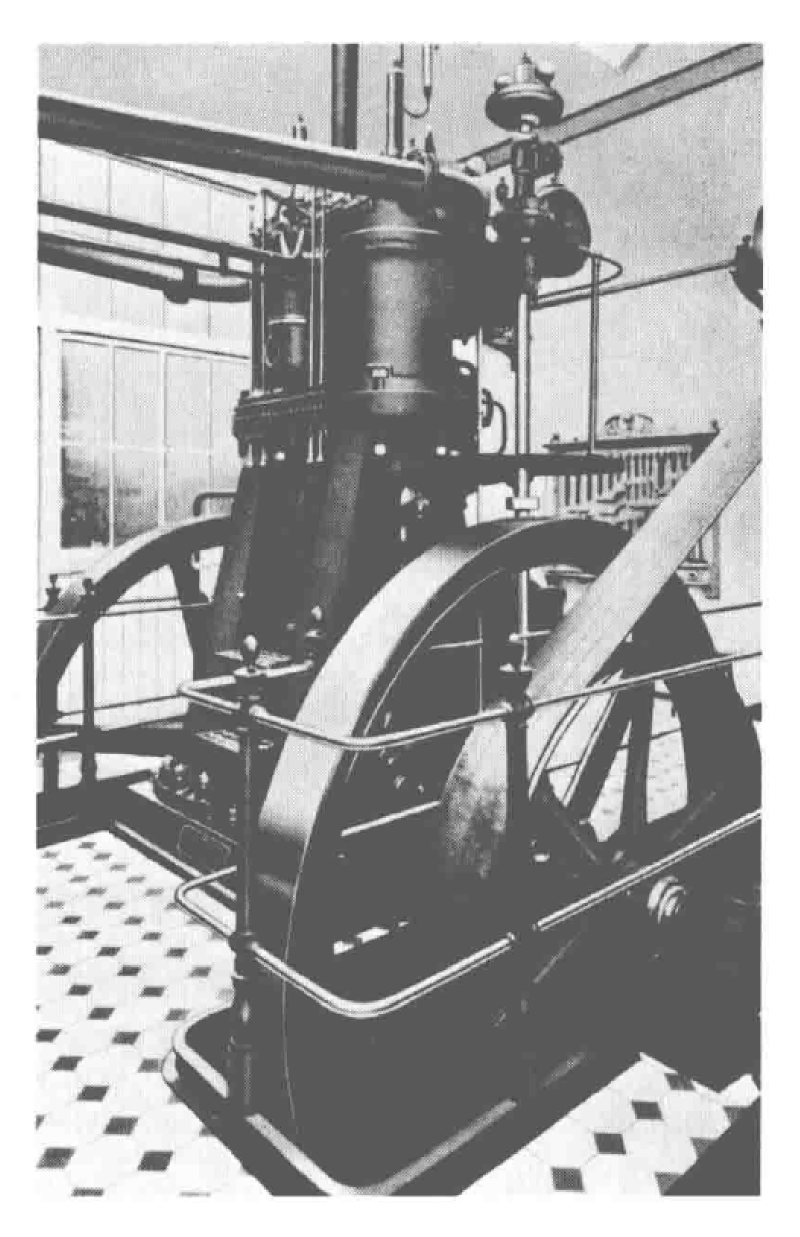


图 40.5　第一台成功的柴油机，由奥格斯堡机械厂生产，于 1898 年运到德国肯普滕的一家工厂。经过多方改进，它变得更加可靠，足以代替蒸汽机。它有两个汽缸，180 转 / 分，可输出 60 马力。本照片中没有显示在所有早期柴油机上喷油所必需的压缩空气箱和喷油泵。

狄塞尔原来设想他的柴油机是一种通用热机，一旦制造出来就能轻松地适用于各种大大小小的工作，并可以使用从花生油到煤粉差不多所有种类的燃料。在以后的 50 年中，各种不同用途的特种类型的柴油机被开发出来，但每一种都各自经历了相当漫长和艰难的发展过程。总的来说，除了大型柴油机以外，其他机型对燃料质量都很敏感。

1006

最早开发的特种类型是潜艇发动机。当柴油机还在研制的时候，几个国家的海军就在对潜艇动力的特殊问题进行研究了。内燃机（和

蒸汽机相比）可望大大节省空间、减轻重量，而柴油机（和奥托机相比）则提供了安全的燃油和效率，这意味着相同重量的燃油可增加航程。然而，潜艇发动机需要的功率是当时固定式柴油机的10倍，以及小得多的比重量。到1914年，有6个国家的潜艇是用柴油机驱动的。这些潜艇带有每台功率为500马力的发动机1—4台，比重量小到25千克/马力。这是柴油机的第一个胜利。它使一种新的运输方式和一种威慑性新武器成为可能。

商船（第31章）的动力主要按燃料的经济性来加以选择。其动力装置相当大，达到1000—2万马力，并且要在一年的大部分时间中平稳运行。从一开始，柴油机在这方面的应用就显得很有希望。用柴油机可以让出发动机房和燃料舱空间用于装货，另外还可以减少2/3的机舱工作人员。这种经济性主要在于用油取代了煤，19世纪80年代蒸汽船上就已经开始这么做了。在船上，油更容易贮存与处置，因而大大节省了靠岸添加燃料的费用，蒸汽船船主情愿出钱购买比煤贵一倍的油。而一旦柴油机性能可靠（这花了大约20年），他们便换用柴油机，指望能更大幅度地节约空间和劳力。

第一艘内燃机轮船于1911年横渡大西洋。在狄塞尔1913年去世以前，已有300艘左右的柴油机动力船，其中大部分相当小。20世纪20年代早期，几艘大型游轮都是由柴油机驱动的。到1927年，德国、瑞士、荷兰和丹麦制造商已能提供专门为航运业所设计的新一代巨型发动机（图40.6），其中哥本哈根的布尔迈斯特（Burmeister）和韦恩（Wain）处于领先地位。此时，工程师们对燃烧、喷油和燃烧室的设计已有了足够的了解，可以使用“直接喷射”或“无气喷射”（当时的叫法）来代替压缩空气喷射，并能把单缸输出功率提升至1000马力。斯堪的纳维亚地区的国家很快便采用柴油机作为船用动力，而英国和美国则慢得多。到1927年，新造的船舶中已有一半是内燃机船。到1950年，柴油机几乎已完全征服了海洋。只有最大型

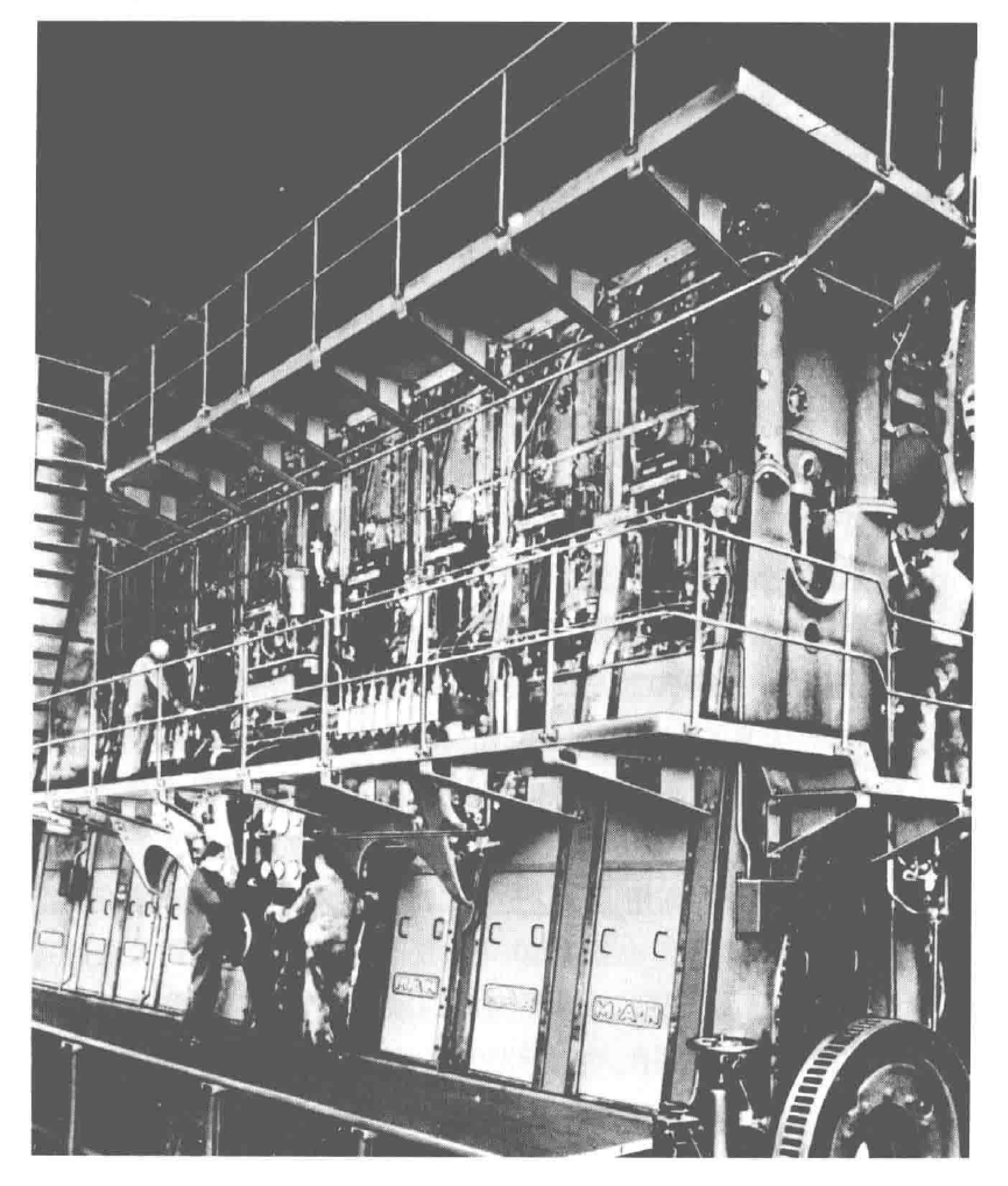


图 40.6 20 世纪 30 年代典型的船用柴油机——八缸、双动式、直喷二冲程，由奥格斯堡 - 纽伦堡机械厂制造，140 转 / 分，输出功率 6350 马力。缸径为 600 毫米，冲程为 1100 毫米。

的游轮和海军舰船能用得起蒸汽轮机。

就在同一时期，即 20 世纪 20 年代，在动力区段的另一端，适合于公路车辆的小型高速柴油机一直在不断发展。公路车辆用发动机

约需100马力，而其比重量应当不超过一定值，如6千克/马力。因此，它承受不了空气压缩机的重量。工程师们花了许多年时间来设计油泵和喷油器，试验各种大小和形状的喷孔和喷嘴，以寻找适合于不同尺寸的汽缸和不同活塞速度的有效燃料喷射。公路车辆的发动机必须以10倍于早期船用和固定式发动机的转速运转，以满足比重量的要求。在这种转速下，点火就成了一个严重的问题。船用发动机的转速达120转/分，一个冲程需要1/4秒。在冲程的前一部分，例如1/20秒内，燃油有时间与空气很好地混合。可在高速机中，同样的混合过程只允许千分之几秒。这个问题的解决方法是把精密、高效的喷油泵和喷油器装置同专门设计的燃烧室相结合。该燃烧室产生一股强烈的湍流，迫使大量的空气与燃油喷雾充分混合。在许多国家，对上百种喷油系统、数百种燃烧室形状以及促使空气形成涡流的方法进行了试验。在20世纪20年代，要数德国的洛朗热(Prosper L'Orange)和英国的里卡多(Harry R. Ricardo)的工作最有意义。到1930年，柴油机驱动的卡车在欧洲和美洲的公路上出现，并迅速普及。

1930年以后，小型柴油机不断发展，转速愈来愈快，功率愈来愈大，并发现了许多新用途。它是第二次世界大战期间驱动坦克、登陆艇、推土机的动力，也是1950—1970年间建设庞大公路系统的重型建筑设备的动力。到了20世纪中叶，高速柴油机成为完全可靠的发动机。所有工业国都在大批量生产，以满足小型电站不断增长的需求。看上去它开始像发明者所设想的那种通用热机了。

狄塞尔明确预见到的一个用途是铁路机车(第32章)。许多种类的内燃机，包括柴油机，从19世纪90年代开始就经常应用于小型的厂区内机车和调度机车，并特别适用于机动有轨车辆，即为支线上的轻型运输而设计的单节自推进车辆。从理论上对柴油机在燃油和维修费用方面的经济性进行了广泛讨论后，20世纪20年代出现了大量为探索用于干线运输的可能性而设计的大型实验用柴油机车。1930

年前后，由于喷油器方面的经验不断积累，从而导致柴油机的可靠性大大提高，人们对柴油机的兴趣也越来越浓，美国许多家发动机制造商和机车厂开始着手制造柴油机机车。通用汽车公司（General Motors）从20世纪20年代后期开始研制高速柴油机，并在1933年的芝加哥博览会上展出了其著名的机车用柴油机的原型。通用汽车公司成功地使柴油机重量大幅度下降，在材料、润滑和冷却方面也不断地进行了许多改进，但其主要贡献在于泵—喷嘴系统，即给每个汽缸一套单独精密控制的喷油泵和喷油器。柴油机长期不间断运行的可行性是在20世纪30年代后期出现的拖挂列车上首次被证实的，但柴油机动力的真正使命是作为所有铁路运输标准机车的动力。它在功率、灵活性、燃料经济性和易维修性等方面都比蒸汽机要优越。在美国，最后一台蒸汽机车是在1953年制造的，干线蒸汽机车的最后一次运行是在1960年。狄塞尔若能看到这场革命一定会高兴的，但他对这场革命的姗姗来迟也一定会感到惊讶，因为他是难以理解制造一台可靠的发动机竟要花这么长时间。

40.3 航空发动机

按奥托循环工作的飞机用活塞式发动机。它是汽车发动机的一个近亲。汽车发动机的大多数问题它都有，而且还有自己的特殊问题。它通常不带变速装置，因为一旦升到空中，它便以恒速运转。不过，它的动力必须能够骤然增加，以便飞机离地起飞，以及在军用飞机中适应战斗的紧急情况。它的可靠性要求更高。然而，在飞机发动机中最重要的还是功率，或更确切地说是比功率，即发动机每千克重量所能提供的功率（有时为了方便起见，把这个比例数倒过来说成低比重量，用千克/马力来表示，而不用高比功率这一说法）。

低比重量的发动机（小汽车所期望的）对飞机来说是必需的。1880年，奥托发动机的比重量约为200千克/马力。到1890年，经

过戴姆勒（Daimler）和迈巴赫根本性的重新设计，比重量下降到30千克 / 马力，低到足以用于公路车辆。到1900年，又下降到4千克 / 马力。到了这个水平，思考设计实际的动力飞行（第33章）已成为可能。

第一批飞行器的动力大多采用已有的汽油机。美国的先驱者兰利（S. P. Langley）从鲍尔泽（Stephen M. Balzer，纽约机械师，一直在试验不用马的车子）那里，（用公债）定购了他的第一台发动机。这是一台重45千克、12马力的三缸旋转活塞式发动机。鲍尔泽已为一辆三轮车安装了这样一台发动机，可是在解决比重量问题上却困难重重。于是，兰利和他的助手曼利（Charles Manly，唯一受过正规工程技术训练的航空先驱）启程到英国和法国寻找轻型发动机。他们看上了德迪翁 - 布东（De Dion-Bouton）生产的摩托车发动机，便买了一台运回家里进行研究。根据鲍尔泽、德迪翁 - 布东和他自己的经验，曼利研制了一台自己的发动机——一台五缸星形发动机[1]。它于1903年用于驱动兰利的飞机，在曼利的操纵下进行了那次不幸的试飞。这是首次专门为飞行而设计的奥托发动机，是一台成功的发动机。它的形状是圆的，后来成了空气冷却式航空发动机的标准形状，转速1000转 / 分，输出功率52马力，比重量约2千克 / 马力，但它从来没有飞起来。

真正飞起来（几周后在基蒂霍克）的第一台发动机是一台四缸卧式水冷发动机。起飞时即时功率约16马力，随后就降到12马力，转速1050转 / 分。它是在美国国内制造的，简单可靠，比重量相当于6千克 / 马力左右。莱特（Wright）兄弟——威尔伯（Wilbur）和奥维尔（Orville）用他们自己的钱和经验在代顿（Dayton）自己的自行车店里制

1　星形发动机的汽缸设置在一个以螺旋桨旋转曲轴为中心的圆半径上。旋转活塞式发动机形状与之相同，但整个发动机围绕着一固定的曲轴旋转，螺旋桨随发动机而不是随曲轴旋转。这种形状的奥托发动机在比重量上有一定的优势。为了平稳运行、平衡良好，汽缸应为单数。

造了一台单缸燃气发动机。在以后的几年里，莱特兄弟继续制造自行设计的、用于飞行试验的发动机，每台都比前一台强一点。他们总共制造了约 200 台发动机。

第一次飞行以后，航空飞行停顿了几年。莱特兄弟悄然无声地做着实验。另一位造出自行设计的发动机的自行车技师柯蒂斯（Glenn Curtiss）正热衷摩托车比赛，并开始进行飞机试验。后来，在 1908—1909 年间，莱特兄弟在法国进行了一系列飞行表演，掀起了一股航空热浪，有点儿像 1927 年的林白热。在第一次世界大战全面爆发之前，法国一直保持着飞机和航空发动机设计、生产世界中心的地位。

大多数早期的欧洲飞行器都使用法国的发动机。不久，专门为飞机而设计的新型发动机出现了。开始，设计者要做两个基本决定，即冷却和汽缸布置。可以用空气或液体进行冷却。汽缸可以被排成一列（成为直列式发动机）；或被排成互相成一角度的两列（像 V 形）；或被设置成星形，像轮辐那样。有两种基本类型出现得很早：一种是空气冷却，通常呈星形；另一种是水冷却，通常呈直列或 V 形。液体冷却的发动机较为复杂、昂贵，也较易被敌人攻击。但它每立方厘米汽缸容积的性能较高，阻力较小。在活塞式发动机使用期间，如何在两者之间进行选择一直存在争议。

到 1910 年，这位富裕的法国运动家可以从法国制造商提供的 37 种发动机中进行挑选以为自己的飞行器配置动力。整个欧洲最流行的是安托瓦内特（Antoinette）水冷 V 形 8 缸发动机（V-8），功率 50 马力，重 95 千克。更新的一种由塞甘（Laurent Seguin）设计的精致旋转活塞式发动机被称作格诺姆（Gnome），也是 50 马力，但重量只有 75 千克，即 1.5 千克 / 马力（图 40.7）。旋转活塞式发动机结构简单、重量轻、运转平稳，是第一次世界大战中协约国战斗机最常用的发动机种。可是，到 1920 年左右，这种发动机就过时了。旋转活塞式发动机存在离心力和回旋力方面的问题，难以满足 20 世纪 20 年代更大型飞机

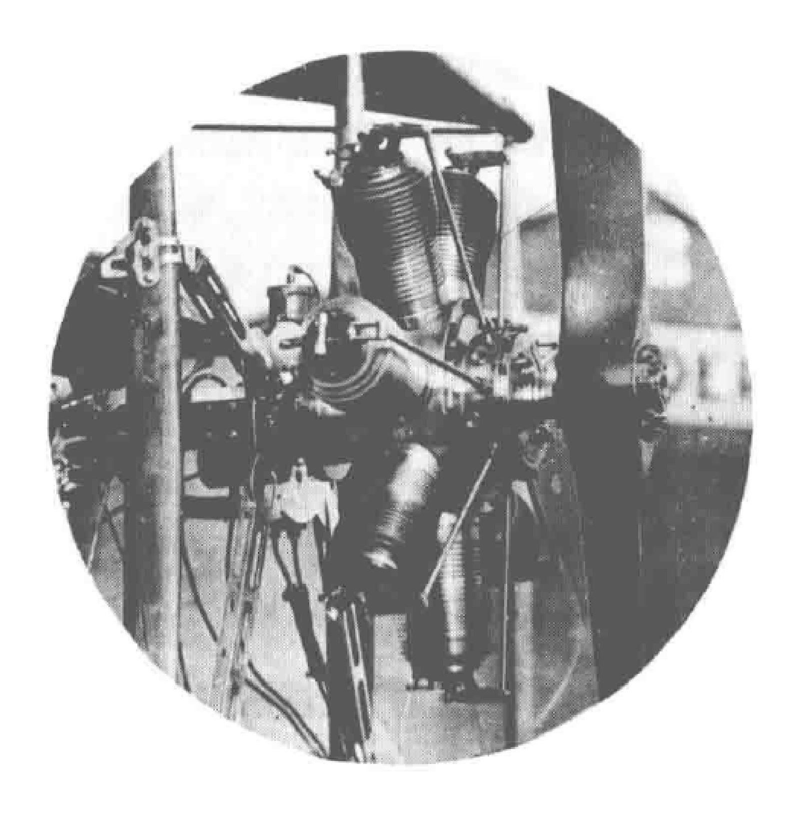


图 40.7　格诺姆——一台法国空气冷却式旋转活塞式发动机，第一次世界大战的头几年是协约国飞机最常用的机型。整个发动机绕着固定曲轴旋转。其采用了最简单的形式——单气阀结构（Monosoupape），每个汽缸只有一个气阀，进汽和排汽双用。常用蓖麻油做润滑剂。

的要求。

到 1910 年，飞行已是一项体育运动。随着 1914 年战争的到来，它成了一个重要的行业。随后，航空发动机的发展完全由满足军事需求而驱使。英国和美国对飞机重要性的认识慢了些，而法国和德国都把数百架战斗机投入战争中。法国飞机配备的大多是轻型格诺姆发动机，最初被德国方面稍加改进的梅塞德斯和奔驰（Benz）汽车发动机（输出功率 150 马力）远远超越。而后，法国通过扩充其空气冷却式发动机，并改造采用著名的伯基特（Marc Birkigt）设计原理并在全世界享有盛名的西班牙伊斯帕诺 - 叙泽（Hispano-Suiza）水冷 V 形 8 缸、150 马力的发动机才挽回劣势。

1012

战争刚开始时，英国可用的飞机不到 100 架，多半是用法国发动机驱动的。虽然皇家飞机制造厂（Royal Aircraft Factory）研制了一种飞机和一种强有力的发动机，但英国的实力远远落后于欧洲大陆国家，

现实的战争将此暴露无遗，于是研究工作转移到了迅速发展的飞机和发动机工业上，最终出现了一些新型的精致发动机。

美国比英国还要落后。1908年，美国陆军购买了一架莱特飞机；1910年，海军从柯蒂斯那里购买了两架水上飞机。莱特和柯蒂斯成为两家互相竞争的公司，在欧洲战争早期都积极发展更新、更强的发动机，并在国内外销售。柯蒂斯研制的90马力OX-5是一台由柯卡姆(Charles B. Kirkham)设计的水冷V形8缸发动机，用来装备第一次世界大战中最为熟悉的美国詹尼(Curtiss Jenny)飞机，一共造了5000台。莱特则开发了自己型号的150马力伊斯帕诺-叙泽发动机。随后，柯蒂斯把目标提高到300马力的水平，采用了新的柯卡姆设计，即K-12型。到这时(1916年)，战斗机的速度已经达到150千米/小时，发动机的功率和飞机的速度是图纸设计指标的两倍。

1917年4月当美国加入战争时，设计人员对发动机的选择余地很大。政府决定把精力集中在一种可以立刻进行大规模生产的标准发动机上，以便在当时的战争中能发挥点作用。经典的"自由号"(Liberty)发动机(图40.8)就这样被选中了。这是一个相当成功的合作成果。这个计划的决定是在1917年5月作出的，7个星期后第一台试验机就完成了，第一台生产的样品在11月份交付使用。4家汽车公司共生产了2万台，供美国和英国空军使用。

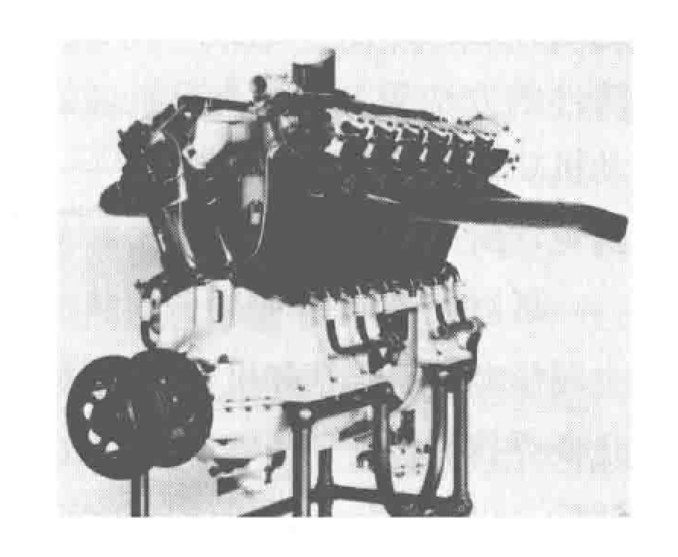


图40.8 "自由号"发动机，一台美国水冷却V形12缸发动机，由一个委员会设计，由汽车制造厂批量生产。它的转速为1800转/分，输出功率为450马力，比重量仅为1千克/马力。20世纪20年代，它被应用于许多方面。

从1910年的"格诺姆"到1918年的"自由号"，是一个极为迅速的进展。1918年的飞机发动机比汽车发动机要大得多，

从经济性上讲差异也很大，功率是汽车发动机的10倍，而价格可能贵100倍。其设计受军队支配，而不是受市场支配。和平时期，它以数十台的规模而不是大批量生产。事实上，由于有战争中剩下的那些"自由号"发动机，许多年来都没什么生产量。不过，开发还在继续，步子虽然慢一点，还是要为以后的战争做准备。

1013

40.4 研究和开发

第一次世界大战中涌现出来的飞机作为一种决定性的新武器，完全依赖于奥托发动机的功率。其军事价值——速度、航程和飞行高度——直接取决于比功率。于是，主要强国的空军开始了一项雄心勃勃的研究计划，旨在寻找从每千克发动机中输出更多功率的方法。汽车和石油工业也对这种无止境的动力需求极为关注。发动机性能的逐年提高既是相互竞争的汽车工业的商业需要，也是相互竞争的飞机工业的军事需要。

提高奥托发动机功率最容易的方法是增加压缩比。更高的压缩比既可以改善经济性，又可以提高功率：在相同的喷油率下增加了功率输出。这意味着每马力小时所需的燃料更少了。但这种改善性能和经济性的方法受到被称为敲缸或爆震（边码989）——一种限制奥托发动机功率的破坏性异常燃烧——的神秘现象的阻碍。了解敲缸并寻找避免它的方法，成为以后25年发动机发展的中心任务。

1014

敲缸问题吸引了许多学科的技术人员、石油专家、燃烧学专家、金属学专家、化学和机械工程师以及各方面的化学家和物理学家。一是要寻找能经受高压缩比而不致早燃的燃料；二是对发动机设计进行试验，以寻找一种尽量使敲缸现象减小的燃烧室形状。这些研究工作在大西洋两岸的工业领域、大学和政府的实验室里进行。在英国，最显著的成果是由里卡多（Harry R. Ricardo）及其同事创造的。他们收集了数百种燃油数据，开始对燃烧进行基础研究，通过改进燃烧室的

形状使发动机的功率增加了20%。美国也开展了类似的对燃料和发动机的研究，于1921年取得了引人瞩目的突破。在通用汽车公司研究实验室（General Motors Research Laboratories）里，发现四乙铅具有显著的抑制敲缸的特性。把极少量的这种化学物质加到汽油中，可使压缩比提高到足以使发动机的性能再提高20%。加铅汽油作为一种提高发动机功率和燃油里程数的简便方法被迅速采用。燃料和发动机必须同时发展。汽车制造商很快就制成了能发挥新燃料优点的高压缩比发动机，而炼油厂则忙于寻找提高汽油抗敲缸性的方法。辛烷值[1]和压缩比同步上升。

1920年到1950年间，美国的汽车发动机的平均压缩比从4∶1上升到7∶1，辛烷值从55提高到85。因此，如果在一台合适的发动机上燃烧1升1950年的优质汽油，其所提供的能量可完成的公路运输吨英里数是1920年的汽油所能完成的相应值的两倍左右。这一进步是多种工业和许多技术专业共同努力的结果。这是一个进化过程，包括发动机设计的逐步改进，石油裂化技术的不时突破，以及四乙铅的发现。也许这一改进有一半要归功于燃油和燃烧室的改进，它靠的是对碳氢化合物燃烧基础研究的帮助；其余的则要归功于冷却系统、化油器、润滑系统、活塞和气阀设计的具体改进，以及冶金学家对新材料的开发。

1015

这一时期，航空工程师的另一重要贡献是增压器，它使高空飞行成为可能。航空活塞式发动机的特殊问题在于随着飞机上升，空气越来越稀薄，会损失功率。为了保持功率恒定，需要一个增压器压缩稀薄空气并按海平面（或更高些）的压力送到汽缸中。一种常用类型是涡轮增压器，它是燃气轮机的前身。它利用废气能量驱动涡轮，涡轮又驱动压缩机，为发动机提供更多的空气。

1　辛烷值是燃料抗敲缸性的度量。它是一种指数，表示与标准发动机上的标准燃料相比，这种燃料能承受多大的压缩比而不发生敲缸。

两次世界大战之间的这一研究和开发工作的成果使航空发动机的功率翻了一番。美国方面，V形12缸水冷式发动机“艾莉森”(Allisen)，其汽缸容积和“自由”发动机大致相同，功率却增加了2倍左右。英国用劳斯莱斯·默林(Rolls-Royce Merlin)发动机装备的飓风式战斗机(Hurricanes)和喷火式战斗机(Spitfire)参加了第二次世界大战。默林发动机是一台水冷V形12缸型机，开始时功率为1000马力。在战争中随着一系列新型号的出现，其功率不断增加，从而能和德国方面在功率上类似的稳步提高相匹敌。美国方面更中意的机型——空气冷却式星形发动机由莱特公司、普拉特和威特尼(Pratt & Whitney)公司大量生产，用于美国的轰炸机群。这种机型在战争开始时也是1000马力。但到了1944年，B29轰炸机就用上了4台2200马力的莱特·赛克伦(Wright Cyclone)发动机(图40.9)。在其高

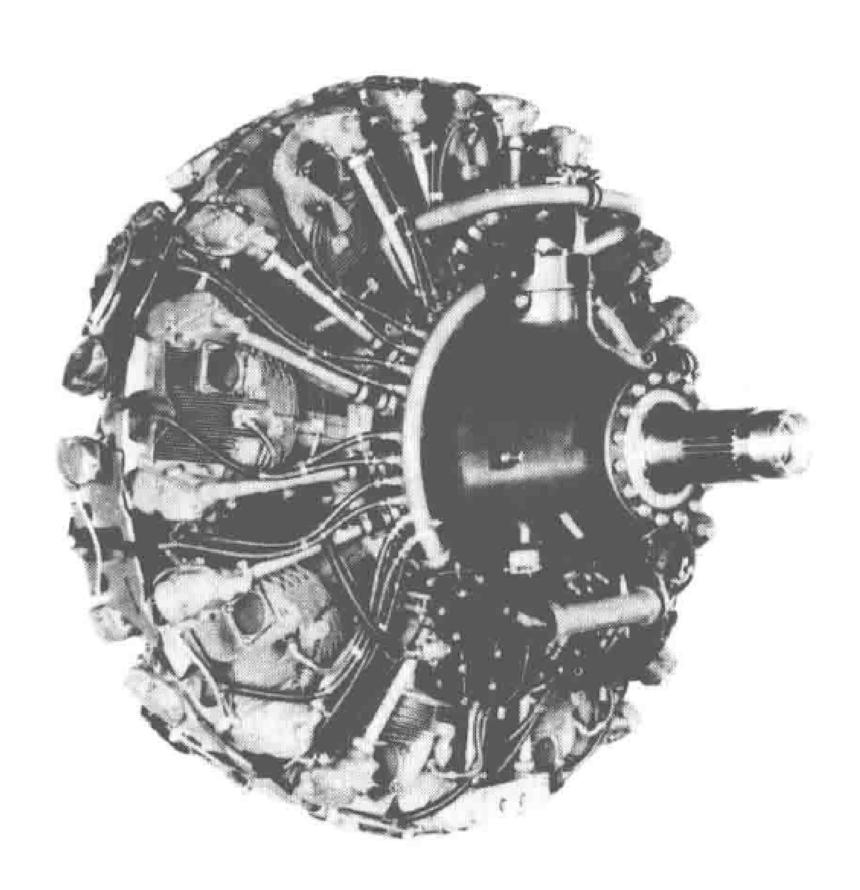


图40.9　莱特·赛克伦R3350，一台1944年的空气冷却式星形发动机，18个汽缸排成两圈，每圈9个汽缸。比重量为0.5千克/马力，接近活塞式发动机的最小值。4台这样的发动机，增压后可为美国B29轰炸机提供8800马力的总功率。

峰期，星形发动机有28个汽缸（4圈，每圈7个）。这些巨型发动机的机械部件错综复杂，却有着惊人的可靠性，能够一小时接一小时不间断地输出3000马力的功率。然而，几乎在一夜之间，它却被燃气轮机彻底淘汰了。

1016

40.5 燃气轮机

20世纪初燃气轮机的概念相当普及，而且也真的造出了一些，通常是图40.10所示的式样，这也是当今燃气轮机的式样。这种内燃机在构造上与奥托机和柴油机有着本质上的区别。不过有4个基本功能是完全相同的：(1) 吸入空气；(2) 压缩空气；(3) 通过在空气中燃烧燃料给空气加热，使空气膨胀并对某一物体施加压力而做功；(4) 排出废气。在汽油机或柴油机中，4个过程在同一汽缸中一个接一个地间歇进行。在燃气轮机中，同样的4个过程在发动机的不同部位进行，每个过程都是持续进行的。空气进入后，通常用回转压缩机压缩，然后送到燃烧室里。那里燃料连续喷射，并始终强烈地燃烧着。膨胀着的气体穿过并驱动涡轮，把一部分热能转变为功，随后由排汽喷嘴排出。涡轮带动压缩机，并用剩下的能量做驱动一台发电机或飞

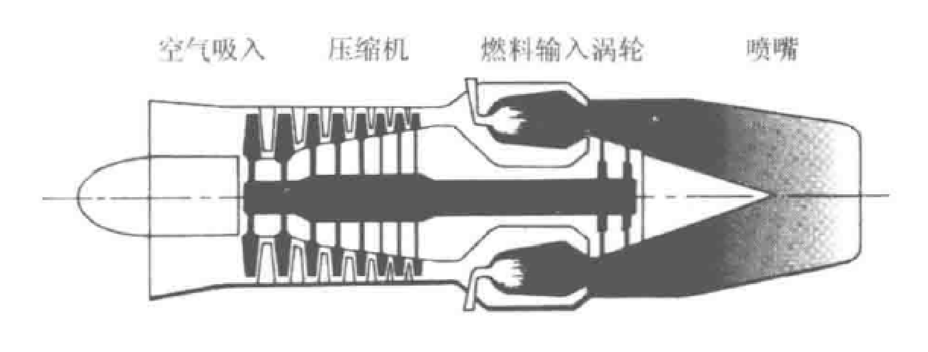


图40.10 一台喷气发动机的结构，它是用于飞机的燃气轮机。空气从前端（左）进入，由压缩机压缩后加入燃烧室中连续燃烧的燃料中。剧烈膨胀的气体流过涡轮并从后面的喷嘴中排出，形成喷气排汽。在涡轮喷气飞机系统中，所有的推力均来自这种排汽气流，而涡轮是用来驱动压缩机的。在涡轮螺旋桨系统中，涡轮也用来驱动螺旋桨。

机螺旋桨之类的有用功。

这种热机方案的最大优点在于燃烧是连续的。活塞循环中的间歇燃烧所引起的各种问题全都消失了；不需精确的定时点火和控制气阀，发动机对燃料质量的敏感性小了，因为燃烧，用不着每秒钟开始和停止许多次。另外，敲缸问题没有了，即对发动机比功率的那种限制没有了。

然而，连续燃烧确实带来了一个重要问题：涡轮必须一直承受非常高的温度；而从效率观点出发，温度越高越好。在奥托机或柴油机的汽缸中，燃烧只在1/5或1/10的时间里进行，因此在两个脉冲之间有时间进行冷却。而燃气涡轮在炽燃的气体中持续运行，没有间断，所以必须用专门的耐热材料来制造，并且压缩机必须提供额外的空气用于冷却。于是，燃气轮机的性能受到了（现在也还如此）可用作涡轮叶片的材料的限制。另一个问题是旋转部件，即回转泵（压缩机）和旋转发动机（涡轮机）的低效率。在热衷于涡轮机的人看来，活塞—汽缸系统似乎是不高明的。但事实上它是一个发展极为成熟和高效的使用燃气的系统，损失几乎不到百分之一。而在当时，使用燃气的回转泵和发动机的机械效率非常低。燃气轮机有那么多内功要做，所以只有很少的能量能有效地输出。

1017

尽管这些困难在保守的工程师们看来是不可克服的，还是有许多燃气轮机（或许有上百种）在1940年前被制造出来并销售出去，用于工业动力或发电，有的甚至在船舶和机车上做试验。瑞士的布朗·博弗里公司（Brown Boveri Co.）是20世纪30年代后期发展工业燃气轮机方面的先驱。

燃气轮机作为空中动力的潜力，引起了一些有远见的军用飞机设计人员的兴趣。其燃油消耗可能是过大了，但其每秒钟处理大量燃油和空气的能力预示了一种推力，这种推力也许可以使战斗机的飞行速度和高度提高一倍。况且，非常高速的涡轮机意味着重量的大大减轻。

大多数早期的设计采用涡轮螺旋桨系统，由一个涡轮驱动一个常规的螺旋桨。这需要通过一个传动系统来实现，因为涡轮的最佳转速比螺旋桨要高得多。另外，燃气轮机也为完全新型的推进方法开辟了前景，这种推进法即喷气（Jet）推进法[1]对飞机特别有吸引力。喷气发动机的推力只是一股炽热的、膨胀着的废气通过一个喷嘴流出尾部时所产生的反作用力。涡轮喷气发动机的想法之所以有吸引力，是因为它固有的简单性——连续燃烧、无螺旋桨、没有传动机构，还因为它看上去似乎很适合高空的稀薄空气。

1018

在1920—1935年间，对两种可能性——燃气轮机作为飞机的原动机代替活塞式发动机以及喷气作为一种推进方法代替螺旋桨——都有过热心的设想和一些认真的研究，但对燃料经济性和比功率的认真分析却令人失望。虽然对高速条件下空气动力学问题了解不多，但至少速度在500英里/时以内，或许更高些，螺旋桨确实是一种比喷气更有效的推进方式。另外，燃气轮机的燃油消耗达活塞式发动机的2—3倍。一份于1920年送交英国空军部的颇有影响的报告认为，燃气轮机的最小比重量是2.7千克/马力，当时活塞式发动机早已下降到1千克/马力左右。因此，一点也不奇怪为什么那些新技术的提倡者没有得到军界或商界对其研制工作的支持，在经济大萧条时期预算紧缩时尤其如此。到了20世纪30年代后期，战争即将到来，至此这种非正统发动机的研制才从政治上获得可能。

涡轮喷气发动机的研制是一个并行独立研制的有趣事例。1935—1945年间，研制工作差不多同时在英国和德国展开。在英国，皇家飞机制造厂（Royal Aircraft Establishment）在1926年开始研制由格里菲思（A. A. Griffith）按新空气动力学理论设计的、由轴流式压缩机和涡轮组成的试验用燃气轮机，未获成功。这项研制工作于1929年中

1 "Jet"这个词在早期用于火箭和喷气发动机都是可以的。两者的推力都是排汽喷射的反作用力。这些词现在都还在使用，由于火箭自己携带氧气，所以它和大气层无关，而喷气发动机则依赖周围空气取得氧气。

断，直到1936年英国再没有进行进一步研制。与此同时，皇家空军中一位实际经验和理论素养均不同凡响的年轻军校学员惠特尔（Frank Whittle）对飞机的推进理论产生了兴趣。他开始是在皇家空军中当见习生，后来被送到军官培训学校学习。1930年，他在那里撰写了一篇预测文章，文中提到了燃气轮机和喷气推进的结合，并认为燃气轮机很适用于高空条件。英国空军部（British Air Ministry）允许惠特尔花些时间对这些设想进行研究，并不反对他将此公开发表，因为军方认为惠特尔的设想并没有什么军事意义。惠特尔1930年的专利揭示了涡轮喷气发动机的基本原理，但并没得到广泛关注，因为这种凭空想象的专利是司空见惯的。20世纪30年代早期，惠特尔想做的研制工作得不到政府或工业界的支持。到1936年，他感到非常沮丧，以致无心去办理专利。这时，皇家空军把他送到剑桥大学攻读机械学。在那里，他偶然遇上了两三个有一小笔资金并想尝尝冒险滋味的人。他与他们一起组成了“喷气动力有限公司”，来实现他的设想。他们总算安装好了一台试验用发动机，于1937年运转起来。第二年，他们获得了另一台试验用发动机的政府合同，并于战争前夕取得了空军部的全力支持。于是，研究经费也就充足了。

1019

1941年5月15日，英国进行了首次试验飞行，用的是一架由早期惠特尔发动机驱动的格洛斯特流星式（Gloster Meteor）飞机，发动机推力1200磅，已经是第一台发动机的两倍了。这样，可行性得到了证实，工程师们可以把精力转向样机的设计并继续研究和发展压缩机、涡轮和燃烧室的细节，这对提高推力、改进可靠性都是必需的。学会了解和掌握一种新的强烈燃烧是这项工作的重要部分。到1943年，在英国有6个燃气轮机项目分别处于开发和生产的不同阶段。皇家飞机制造厂已经恢复了格里菲思的配备轴流式压缩机的涡轮螺旋桨发动机系统的研究计划，这比惠特尔的离心式（即径流式）压缩机更难制造，但有希望获得更高的功率。劳斯莱斯、布里斯托尔（Bristol）、

德·哈维兰（de Havilland）及维克尔斯（Vickers）等发动机和飞机制造公司都对这项工作全力以赴，目的是使燃气轮机投入战斗。

德国人开始研究燃气轮机的时间大致和英国人相同，是1935年。然而，德国人最先起飞，并最先把喷气式飞机投入作战。研制工作从哥廷根开始，那里长期以来一直是空气动力学理论的研究中心。20世纪20年代，流体力学的伟大先驱普朗特（Ludwig Prandtl）在那里研究出了绕过机翼的空气流理论，这使飞机设计者能将机翼升力提高，减少一半机翼阻力。这一理论也可用来提高涡轮和压缩机效率。

冯·奥海恩（Hans Pabst von Ohain）——一位在格丁根学习空气动力学的学生，从来没听说过惠特尔及其工作，他设计了一个涡轮喷气发动机系统并申请了专利。这个涡轮喷气发动机系统实质上和惠特尔的相同，但几乎所有的零部件都不一样。1936年，他去海因克尔一家对火箭和喷气推进感兴趣的飞机制造商那里工作。冯·奥海恩于1937年成功试制了一台发动机。1939年8月27日，就在战争开始之前，涡轮喷气飞机起飞了。这是世界上首次喷气飞机的飞行。另一条由柏林的空气动力学教授瓦格纳（Herbert Wagner）开创的研制路线，在另一家飞机制造公司——容克（Junkers）飞机制造公司进行。瓦格纳的原始设想是涡轮螺旋桨发动机系统，于1938年改为涡轮喷气发动机，最终研制出容克004，是第一台投入战争的喷气式发动机。战争结束前共生产了1400台。

这两方面的研制都是秘密进行的，由工业企业内部资助。1938年，两种发动机都向德国空军部公开。德国当局对非正统发动机的兴趣比英国政府要浓一点，也要早一点。和英国一样，他们同时选择了6个不同项目给予支持，包括涡轮喷气发动机、涡轮螺旋桨发动机和火箭。这些项目有些在企业内进行，有些在政府实验室里进行。德国在生产传统发动机和开发新发动机两者之间如何分配短缺资源这一问题上难以抉择，大概比英国还要困难。他们受战略原材料短缺的困

1020

扰更多。后来，由于空袭的破坏，这方面的困扰就更大了。不过，他们确实造出了一架喷气式战斗机投入作战，这就是梅塞施米特 262 型（Messerschmitt 262）飞机，由两台容克 004 发动机驱动。

英德双方在 1944 年的战争中都使用了喷气式飞机。英国用的是格洛斯特流星式战斗机，用两台惠特尔发动机作动力，每台推力 1700 磅，速度为 625 千米 / 小时，比最好的德国活塞驱动战斗机稍快。它于 1944 年 1 月公布于众，并用来对付 1944 年 8 月德国攻击伦敦时用的 V-1 火箭，即"V"型飞弹（第 35 章，边码 865）[1]。

梅塞施米特 262 型飞机也于 1944 年投入战斗，用来对付美国的轰炸机，时不时造成毁灭性的效果。它比流星式飞机快，设计更先进。但德国人被迫在设计和生产上做了些精简，在喷气式战斗机完全成熟、性能可靠之前就投入战争。因此，他们遇到了许多困难并多次发生事故。

美国的研制工作比欧洲开始得晚，但一旦开始就进行得生气勃勃。其中最早的一台工业燃气轮机是于 1937 年在宾夕法尼亚州的一个炼油厂组装成功的（图 40.11）。同时，对机车和船用燃气轮机也有所开发。虽然有一些关于燃气轮机用于空中动力的讨论以及提供给军用的特殊建议，然而美国的普遍意见和欧洲一样，认为燃气轮机在空中使用显得太重，效率太低。

1021

美国最早的先驱者是一位名叫莫斯（Sanford H. Moss）的工科大学生。他原是一名机械师的学徒，后进入工学院学习，并于 1902 年在康内尔大学撰写了一篇关于燃气轮机的学位论文。通用电气公司对该论文很感兴趣，雇用了莫斯，并资助了几年燃气轮机计划。可是，莫

1　V-1 发动机是一种新型内燃机，叫作脉冲式喷气发动机，是冲压喷气发动机的改良型。冲压喷气发动机是能够做到的最简单的内燃机，没有任何运动部件。它只是在速度足够快时，使从机头进来的空气在没有压缩机的情况下得到压缩而进行工作：空气冲入燃烧室，在那里燃烧，然后从喷嘴排向后方，不用涡轮。脉冲喷气发动机与此相同，只是进入燃烧室的空气通道是由止回阀控制的，以便在连续爆炸中进行燃烧；在 V-1 发动机中大约每秒 40 次。

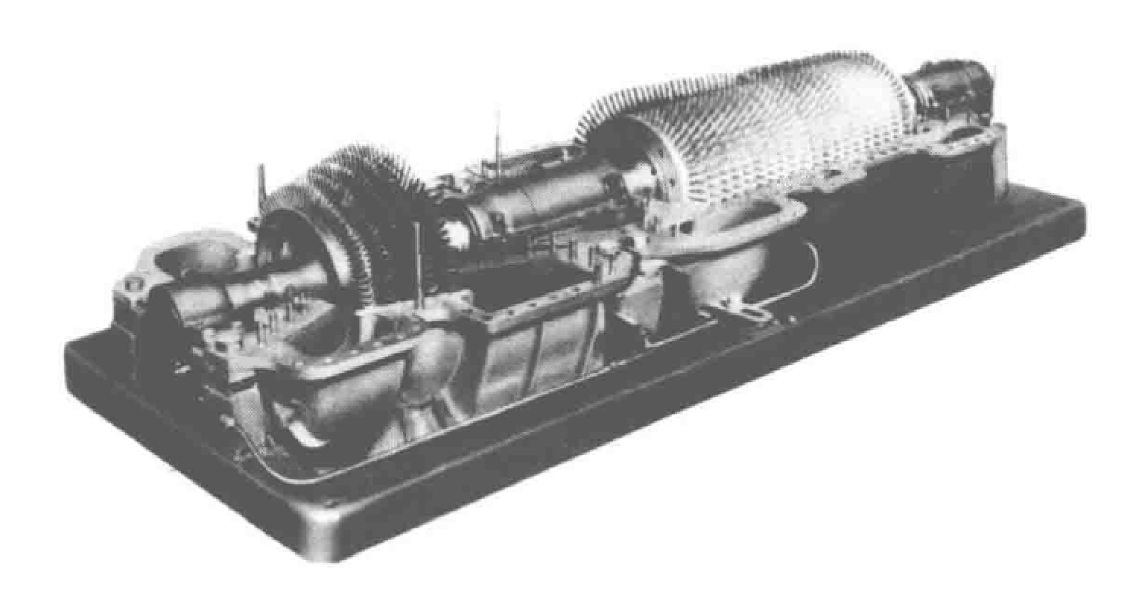


图 40.11 一台盖子打开的固定式燃气轮机，可看到涡轮（左边）和轴流式压缩机（右边）。这张照片所展示的是美国第一台工业燃气轮机，1937 年由瑞士的布朗·博弗里公司为太阳石油公司（Sun Oil Company）生产，用来为其在宾夕法尼亚州马卡斯湾（Marcus Hook）炼油厂的霍德里（Houdry）工艺流程提供动力。这种发动机没有喷嘴，所有的动力都由涡轮供给。这类发动机由于不需要预热过程即可运行，在电厂处理用电高峰和应急时是很有用的。

斯所能获得的最高效率是 3% 左右，这被认为毫无希望。然而，这段经历没有白费。1918 年，莫斯开始了对活塞式发动机涡轮增压器的研究，它成为军事航空的重要计划以及对通用电气公司有利可图的项目。对涡轮增压器的研究工作为美国工程界提供了处理燃气轮机的经验，并在用作涡轮叶片的特殊合金开发方面开了一个头。

美国航空史上最有影响的机构是国家航空咨询委员会（NACA），它由 1915 年任命的一批无报酬的专家组成，用来协调航空研究和发展。NACA 为工业和大学院校实验室里的研究提供资金，也在自己位于兰利基地（Langley Field，建于 1917 年）的实验室里开展研究。燃气轮机和喷气推进的课题在他们的审议中曾多次提及。但当战争迫近时，NACA 认为在喷气推进方面不进行大的投资是慎重的行为。

1941 年 3 月，由于传来了德国进行火箭及喷气飞机研究的谣言，NACA 认为重新审视新型发动机的时候到了，并任命了一个喷气推进研究委员会。委员会在杜兰德（W. F. Durand）的有力领导下立即投入工作，并马上同通用电气公司、威斯汀豪斯公司和查尔默斯公司签

1022

订了开发燃气轮机的合同。这时，陆军和海军也感兴趣了，恢复了诺斯罗普（Northrop）、洛克希德（Lockheed）、普拉特和惠特尼（Pratt & Whitney）公司过去的项目计划。到1943年，8个项目都在进行中，大多数是涡轮螺旋桨发动机系统，因为每个人考虑的都是400英里/时或最高500英里/时的速度。NACA还建造了两个大型实验室，其中之一是克里夫兰的飞行推进实验室（Flight Propulsion Laboratory at Cleveland），装备有喷气推进试验设备。

在战争结束之前，没有任何美国自己制造的燃气轮机飞机起飞过，但美国式的惠特尔发动机进展迅速，并成为升入空中的第一台美国喷气发动机。到英国参观的美国人风闻了喷气动力公司在紧闭的大门后面所进行的工作。1941年，英国愿意和美国分享他们的经验。美国陆军要求通用电气公司承担惠特尔发动机的研制工作。英国把最早的发动机中的一台送到了美国，并带去了完整的计划和一支专家队伍；惠特尔本人也访问了正在进行这项工作的林恩工厂。美国则向英国提供了制造涡轮叶片的高档材料，这些材料使涡轮机输入温度明显提高。这个研制计划的产品是GE 140发动机，用于驱动第一架美国喷气式战斗机——奔星式（Shooting Star）飞机，推力4000磅，为第一架升入空中的喷气飞机推力的3—4倍。研制工作开始于1941年10月，发动机于1942年4月运转，并于1942年10月起飞。不过，这一研制工作到战争结束时仍未完成。

有趣的是这3个国家的涡轮喷气发动机的研制途径很相似。燃气轮机和喷气推进这两个想法都被搁置了一段时间。在第二次世界大战之前，喷气推进被认为是不切实际的空想。燃气轮机用作固定式动力倒切实可行，但直到1940年，专家们的最佳判断还是认为它不适于用作航空动力。可每个国家都有一两位工程师独自坚持的理论研究，相信这是可行的。这些人既不是热情的业余爱好者，也不是自学成才的机械师，他们都是在热力学和空气动力学方面受过正规培训的科学

家。燃气轮机是现代工程科学的产物。

在这3个国家里，开发工作最终都由政府机构（英国空军部、德国国家航空部和美国国家航空咨询委员会）控制和拨款。这些机构的组织结构不同，与政府和军队的关系也各不相同，但它们都负责协调数十家国立或私立实验室的研究和开发工作，并对研究方案作出决策。1023 这类技术的发展不由市场力量控制，往往由委员会里的人控制。他们阅读报告，听取论述，平衡政治上、军事上和经济上相互矛盾的压力，并尽自己所能展望未来。他们有许多难题需要回答：是把稀缺的资源集中在最有希望的发动机上，还是分散到其他方案中去？应该怎样在已知型号的生产和未知型号的开发之间分配力量？如何确定用哪种方式在短期目标和长远目标之间、生产和研究工作之间、生产速度和产品可靠性之间取得平衡？哪些机构应做哪种工作？谁做科学研究？谁搞技术开发？谁进行样机设计？谁进行实践生产？针对这些难题，不同的国家有不同的答案。但这3个国家的主管部门都采用了多元化的方法：他们支持六七条开发方案而不是过早指定一种方案的风险。有些最重要的研究要在各国航空部自己的实验室，如皇家飞机制造厂、德意志航空试验所和NACA飞机推进研究实验室里进行。各国航空部都还利用独立的大学实验室和主要生产厂家的工业实验室从事理论研究和实际开发工作。燃气轮机和20世纪的大多数技术成就一样，也是复杂的研究机构合作网络的产物，而不是发明英雄们个人的创造。

燃气轮机出现得实在太晚，以至于没有影响第二次世界大战的进程。不过，在战后的15年里，它彻底改变了军事航空和所有长途客运业的面貌。在后来的朝鲜战争中，喷气式战斗机是双方的标准武器。而喷气式轰炸机的计划还悬而未决，它由4台或6台喷气发动机驱动，每台的推力都是第一台喷气发动机的10—20倍。这样高度集中的功率及空气动力学的新知识，使1953年第一次持续的超音速飞行得以实现。燃气轮机于1952年进入民用客运业，最初是涡轮螺旋桨式的，

1957年开始在横渡大西洋的贸易运输中占据优势。横渡大西洋的航线末日来临，突然之间，铁路的长途客运也面临退休了。

各种各样的内燃机似乎总是这样以某种形式在经济和人类生活中引起变化。它的某种形式只是减轻了修整草坪的劳动，它的另一种形式则使铁路和船舶动力的成本减少了一半。坦克和飞机彻底变革了战争，拖拉机使农场的产量翻了一番，而雪地汽车则改变了北极圈的生活。有些重大变化是悄悄进行的，很少受到公众注意，如由链锯和推土机引起的伐木业的根本变化。其他一些重大变化，如汽车进入我们的文明，触及我们的全部生活并引起持久的、破坏性的社会问题。人们对内燃机的依赖无疑是20世纪历史的重要事实。

1024

参考书目

Boyd, T. A. Pathfinding in fuels and engines. *Quarterly Transactions of the Society of Automotive Engineers*, **4**, 182–195, 1950.

Bryant, L. Rudolf Diesel and his rational engine. *Scientific American*, **221**, 108–117, 1969.

Day, J. *The Bosch book of the motor car, its evolution and engineering development.* St. Martin' s Press, New York. 1976.

The development of the internal combustion turbine. *Minutes of Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **153**, 409–512, 1945.

Dickey, P. S. *The Liberty engine1918–1942.* Smithsonian Institution, Washington. 1968.

Goldbeck, G. Geschichte des Verbrennungsmotors. *Automobil-industrie*, No.3, 61–69, 1971 ; No.4, 47–58, 1971 ; No. 3, 37–48, 1972.

Hardy, A. C. *History of motorshipping.* Whitehall Technical Press, London. 1955.

Hobbs, L. S. *The Wright brothers' engines and their design.* Smithsonian Institution, Washington. 1971.

Jane, F. T. *All the world' s air-craft.* Part C : *The world' s aerial engines.* Samson, Low, Marston & Co., London. 1914.

Kolin, I. *The evolution of the heat engine.* Longman, London. 1972.

Lehr, G. *La propulsion des avions.* Presses Universitaires de France, Paris. 1965.

Meyer, R. B., Jr. *Langley's aero engine of 1903.* Smithsonian Institution, Washington. 1971.

Oil Engine Traction in 1936. *Engineering*, **143**, 45–46, 58, 1937.

Ricardo, H. R. The development and progress of the aero engine. *Journal of the Royal Aeronautical Society*, **34**, 1000–1015, 1930.

Ricardo, H. R. High-speed diesel engines. *Engineering*, **143**, 136–138, 1937.

Sass, F. *Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918.* Springer, Berlin. 1962.

Schlaifer, R. Development of aircraft engines, and Heron, S. D., Development of aviation fuels. Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, Mass. 1950.

Taylor, C. F. *Aircraft propulsion. A review of the evolution of aircraft powerplants.* Smithsonian Institution, Washington. 1963.

Whittle, F. The early history of the Whittle jet propulsion gas turbine. *Minutes of Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **152**, 419–435, 1945.

第41章 汽轮机

艾伦·史密斯（ALLEN SMITH）
T. 狄克逊（T. DIXON）

19世纪末，汽轮机（第Ⅴ卷，第6章和第7章）作为一种新式的原动机已脱颖而出，为电力生产（第45章）的奇迹般增长铺平了道路，使工业产值大幅上升，为家庭生活带来了极大便利。此外，汽轮机还被用作船舶发动机和其他类型的工业动力，都很成功。汽轮机的原理并非新提出来的，但发展这个原理并使之成为一种有应用价值的理论，则是许多杰出的工程师的结果。

在这些工程师中，尽管德·拉瓦尔（C. G. de Laval）[1]在1883年就制造出了第一台可运转的汽轮机，但第一台实用的汽轮机却是帕森斯（C. A. Parsons）应用反动原理（reaction principle）在1884年制造出来的。他把这台汽轮机直接连接到自己设计的一台高速发电机上。德·拉瓦尔的原始汽轮机是单级叶轮，接着由柯蒂斯（C. G. Curtis）[2]设计了一种两级或多级复速级式叶轮。拉托（C. E. A. Rateau）[2]意识到德·拉瓦尔和柯蒂斯的设计均有局限性，因此便采用复式压力级冲动式设计来代替帕森斯的基于反动原理的设计。

1884年，当帕森斯因其主要发明获得专利（包括汽轮机和压缩机）时[3]，往复式蒸汽发动机已高速发展成为多缸带冷凝器的结构，功率高达750千瓦（第Ⅴ卷，第6章）。尽管由帕森斯的第一台汽轮机驱动的发电机只能产生7.5千瓦的功率，但转速却可达到前所未有

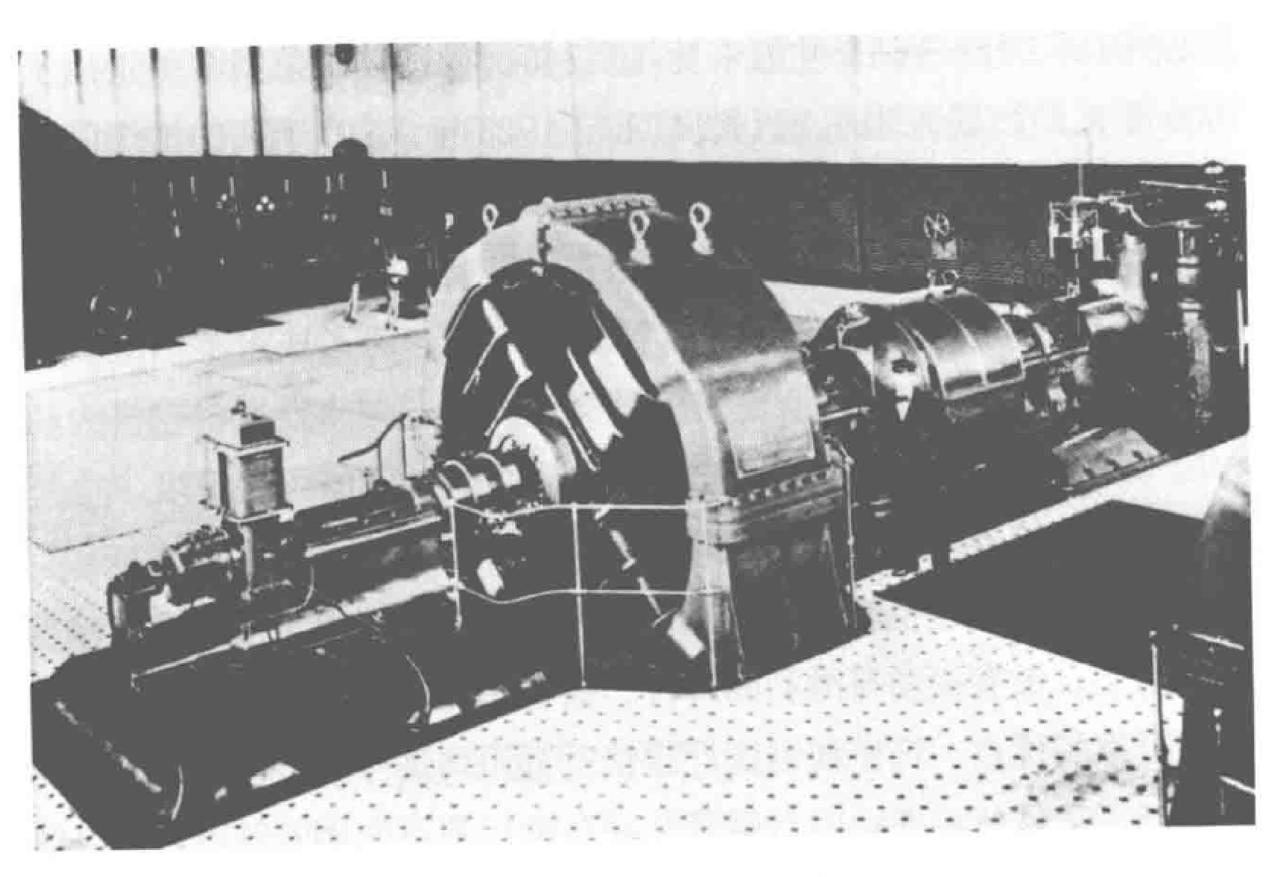


图 41.1 安装于德国埃尔伯费尔德的 1000 千瓦汽轮发电机，1900 年。

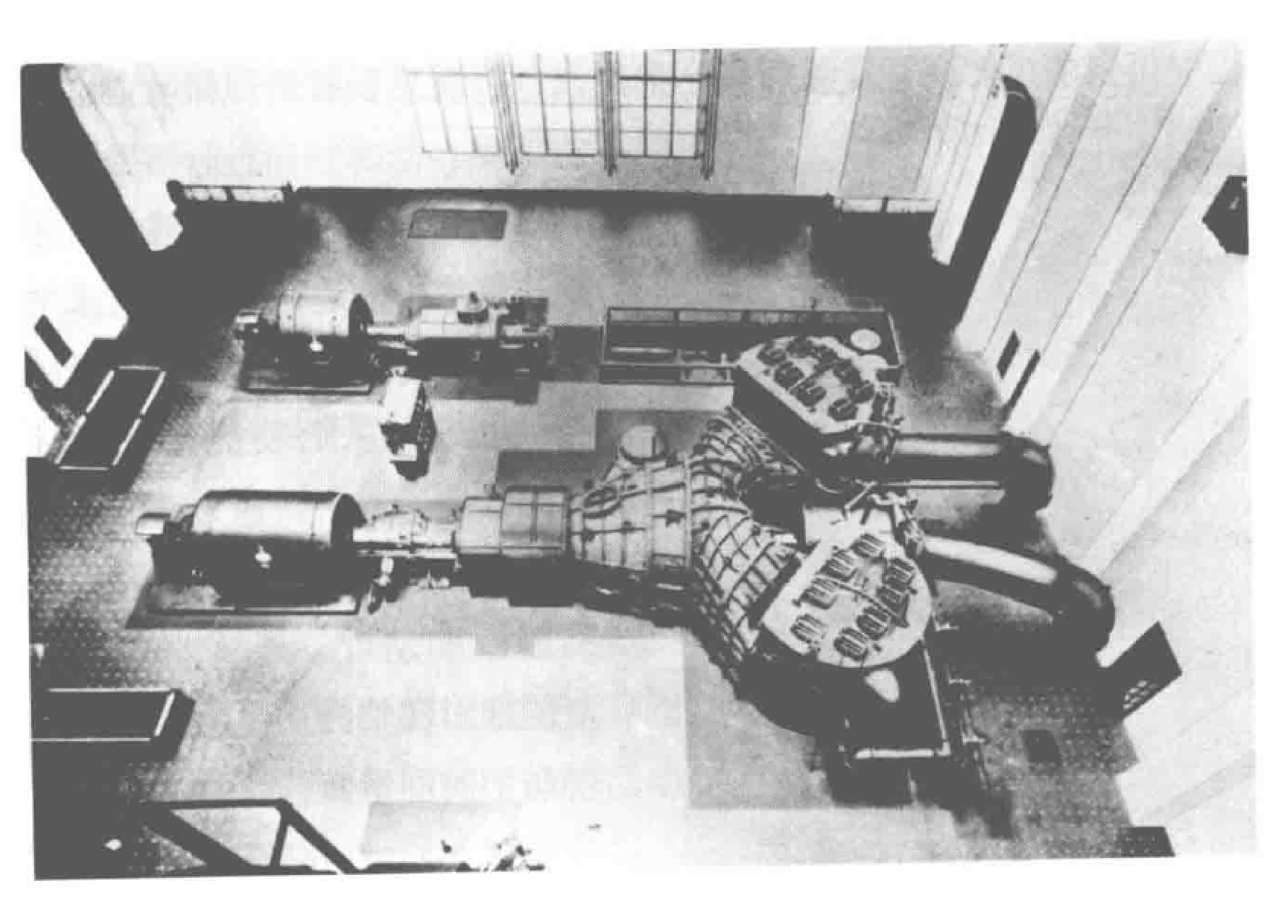


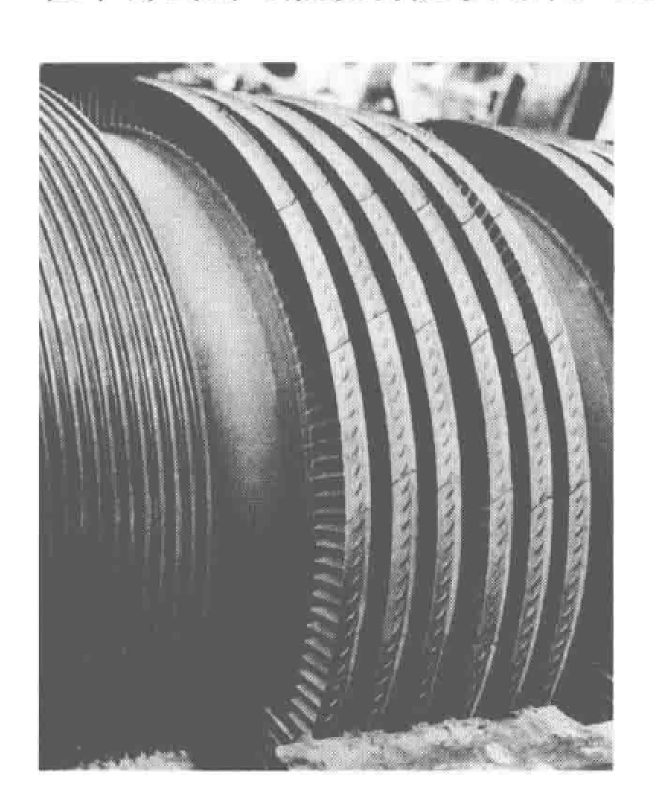
图 41.2 建于芝加哥克劳福特大道发电站的 5 万千瓦汽轮发电机，1923 年。

的1.8万转/分。到19世纪末20世纪初，德国埃尔伯费尔德造出了1000千瓦的汽轮发电机组（图41.1）；1923年，5万千瓦的机组问世了（图41.2）；而到了1950年，功率已跃至15万千瓦[4]。

此外，汽轮机的发展并不仅限于一些大型发电总站的电力生产，帕森斯还把它用作轮船的推进装置。1897年，为了庆祝英国维多利亚女王加冕50周年，在斯皮特海德阅兵式上，帕森斯以汽轮机为动力的“透平尼亚号”（Turbinia）轮船显示了34.5节的可观速度。往复式蒸汽机很快便降为不定期货轮的动力机了。

1027

即使撇开汽轮机较高的比输出这一特点不谈，由于汽轮机纯粹是旋转运动，没有振动与滑动的部件，很快便显示出比其他形式的原动机更可靠的优点。煤矿和钢铁厂很快就意识到这一点，将它用作通风设备与高炉鼓风机的动力。后来它在造纸厂和石油化工领域得到应用。事实上，凡是需要通过蒸汽进行大规模加热、同时电力负荷较高的地方，都用到汽轮机。尤其是石油工业界人士很快就意识到，在炼油过程中得到的可燃废物能够用来产生蒸汽，以满足裂解过程和电力生产的需要。


图41.3　装有交替静叶环与动叶环的汽轮机外观图。

汽轮机区别于其所替代的往复式蒸汽机的地方，在于它采用了交替排列的静叶环和动叶环（图41.3），从而使热能在叶片间的弯曲通道中转换为动能。所产生的高速蒸汽喷射流通过一列列静叶和动叶，连续改变方向，以便能对转轴做功；所产生的功率与切向动量及叶片速度的变化成正比[5]。牛顿第二运动定律的欧拉公式可用来计算叶片切向

力，这种切向力将导致压力和速度沿各个叶片纵断面变化。正是这种压力差最终限制了叶片上所形成的切向推力。如果负载过大，就会产生不能承受的高压力梯度，致使边界层剥离和严重损坏。 1028

汽轮机的基本效率是叶片速度与汽流速度之比的函数。帕森斯（后来还有拉托）认识到，如果按照德·拉瓦尔所设想的那样，进汽的总能量全在一级释放，那么所产生的旋转速度和流体的摩擦损耗将会过高。因此，他们各自独立地采用了复式压力级，通过几级来减小压降和热降，从而能够采用较低的叶片速度。这样，就有可能使叶片的应力保持在允许的范围内，并获得所期望的性能。

41.1 冲动式汽轮机和反动式汽轮机

按照拉托的概念，每一级（由一列静叶和一列动叶构成）上的压力降，全都由静叶来承受，而在动叶上做功并无进一步的压力降，这种设计就是有名的“冲动式”汽轮机。

帕森斯所设计的汽轮机是这样的：经过每一级的压力降将一分为二，使得经过静叶和动叶的热量降相等。由于反动作用是由加速转动叶片中的汽流产生的，因此这种汽轮机通常被称为反动式汽轮机。事实上，更准确一点说，应该把帕森斯的设计称为50%的反动式设计，因为反动作用通常被定义为通过动叶的热量降与该级的总热量降之比。因此，冲动式设计相当于一种反动作用为零的设计。

多年来各汽轮机制造商们同时在开发着这两种类型的设计，可以说没有哪一种在总的性能上明显优于另一种。尽管50%反动式叶片装置的内在效率比冲动式装置要高，但后者却因其圆盘形转子和隔板装置使余隙损失和平衡活塞的泄漏较少而优于前者。然而，由于冲动式汽轮机的制造者不同程度地将反动式汽轮机的原理融合进自己的设计中去，这两种设计的差距逐渐缩小。对于最后二级至三级低压叶片来说，由于空气动力和应力方面的制约，现在在设计上已几乎没什么 1029

差别了。

1903 年前后，在美国由柯蒂斯开发的一种使用双列复速级式叶轮的设计由于其固有的低效率，只得到了有限的应用。不过，它已被成功地用作许多陆上汽轮机的进汽级，以降低蒸汽作用于汽轮机汽缸与轴上的压力和温度。它还被用作船用汽轮机（边码 1034）的倒车叶轮，此处需要紧凑的装置，有较大的输出功率，而不一定要求高效率。

汽轮机必须能适应从进汽口到出汽口进程中蒸汽比容的增大，同时也要求能保持叶片速度和蒸汽流速之比的大体一致。叶轮的平均直径或高度逐级增大，或两者兼而有之，以提供所需的流通面积。在许多凝汽式汽轮机中，它们的容积之比可能大到几百比一。事实上，为了限制排汽中的能量损失，在最后一列叶片中提供足够的叶片流通面积的难度成为提高机组尺寸规格的主要制约因素之一。最初，两个汽缸被排成一列，使低压汽轮机有两条蒸汽通道，从而能提供较大的排汽面积，防止对转轴施加过大的扭转应力。

当蒸汽条件和输出功率继续提高时，就必须开发更好的材料，以减小汽轮机在高温区段的“蠕变”率，并为排汽端叶片与转轴所承受的高应力提供足够的安全保证。圆盘轴、鼓形轴或焊接轴的采用，缓解了获得具有所需机械性能的可靠锻件的难度。然而即使如此，最后一列低压叶片与轴的大小比例仍然是一个主要的制约因素。

起初，串联式汽轮交流发电机组已最为充分地利用了现有材料的性能。这些发电机组以 3000 转 / 分或 3600 转 / 分的转速运行，以适应欧洲和北美各自的频率标准（第Ⅵ卷，边码 288）。后来更大型机组的设计通常采用并联式排列，其高压及中压部分的转速为 3000 转 / 分或 3600 转 / 分；低压部分为 1500 转 / 分或 1800 转 / 分[4]。这种安排形成了一种紧凑的设计，使高压和中压汽轮机具有较低的涡壳应力。这种设计也能够在一个给定的扭转应力下提供大得多的排汽面

积。然而，由于需要两台发电机以及低压汽轮机的尺寸等问题，使每千瓦电力的成本比相应的高速单排列的机组要高。

几年后，许多新颖的设计被采用，在叶片速度允许的范围内增大了排汽流通面积。1926年，帕森斯研制了一种双排汽装置，在该装置中汽流在低于大气压的状态下被分成两股，作用在同一根轴上且方向相同，并且每一股在被排进一个共用的凝汽器以前要经过三级或四级叶轮。这类机器中最大的一个功率达到约3万千瓦。这种机器只造了几台，在大型多缸汽轮机被设计出来以后就不再使用了。

1030

鲍曼（K. Baumann）提出了解决排汽时高流速的另一种办法。他引入了一种汽流系统，利用叶片顶部具有较高的做功能力这一优点，去逐步降低通过最后两级低压叶轮的蒸汽流量[6]。此系统在不削弱性能的条件下，最终能使一台其叶片顶部直径与以往产生60兆瓦的机器相等的排汽装置产生100兆瓦的功率。此外，通过降低叶片顶部的速度，鲍曼系统也减缓了蒸汽在膨胀过程中所形成的水滴同动叶之间的相对冲击速度，从而也就降低了叶片对防腐蚀措施的要求，而这种措施在具有相同功率的常规排汽叶片装置中是必不可少的。

永斯特伦（F. Ljunström）研制出轴流式汽轮机的一种重要变形[7]。这种装置采用两个具有50%反动式叶轮的反向旋转轴，各自把功率输给两个独立的发电机。让蒸汽靠近轮轴并使其通过同心叶片列沿径向向外膨胀，由此所带来的直径增大部分地适应了蒸汽比容增大的需要。不过，对大型汽轮机来说，由于叶片应力的原因，需要有好几个轴流级，所以功率超过40兆瓦的汽轮机就不采用这种类型了。

41.2 循环效率

在一定的背压和排热温度下，提高进汽温度可提高循环效率。为满足卡诺理想热机（第Ⅳ卷，边码163）可逆过程的条件，还需要在蒸汽膨胀过程中进行等温供热与排热。这第一个条件在蒸汽机的兰金

(Rankine)蒸汽循环中，是通过提高进汽压力从而在尽可能高的温度下供热这一方法来实现的。引人瞩目的是工作压力和温度已从1900年的11巴和200摄氏度提高到1950年的103巴和565摄氏度，足以说明这方面所取得进展的程度。

1918年，卡维勒电站[8]采用回热式供热方法，避免了不必要的热量损失。从低压汽轮机分流出一部分蒸汽，加热从凝汽器提取的水，提高了回流到锅炉中去的水的温度。这种回热式供热方法的净效益很好，被广泛采用，后来又推广到拥有多达6个回热抽汽点的高压缸。

1031

遵循卡诺第二定理而提出的在高压与低压汽轮机之间的蒸汽再热法，于1923年在芝加哥和北蒂斯发电站[6]首次获得商业性应用，实现了循环效率的大幅度提高。1924年，在靠近伦敦的巴金(Barking)，这一成果再次被加以运用。不过，最成功的应用无疑是1930年在邓斯顿“B”发电站。在低压汽轮机中循环效率的提高和叶片中湿度损失的减少是如此显著，以致那些50兆瓦、1500转/分的串联式汽轮机取得了36.8%的总效率，这个记录在10年内几乎未被超出过。只有把这个效率同该世纪初的埃尔伯费尔德的1兆瓦机组所获得的15.5%的效率相比，效率提高的幅度才能被充分认识。在25年中，效率提高了一倍多。

在热力学理论有所发展的同时，还在风洞和汽轮机中开展了实验，来优化叶片外形、周边间距、安装角度和叶片高度，以提高效率和强度。如何密合动叶和静叶之间的余隙这一问题也已引起普遍关注。

在50%反动式叶片装置中，由于热量降是由静叶与动叶等量分担的，因此有必要把静叶片列与动叶片列全部都密闭起来，以防止蒸汽通过叶片顶端泄漏出来。然而，在冲动式多级汽轮机中，固定喷嘴的设计使热量降接近反动式的两倍，而通过动叶列的热量降却微乎其微。这样，就不必去精心密闭动叶片顶端了，可是固定喷嘴列却有着

很大的压力降，密闭是必不可少的。为了做到这一点，在冲动式汽轮机中，转子结构采用红套圆盘的方法；固定喷嘴的叶片嵌装在隔板上，并且其内径要小，以减少泄漏面积。然而，这种方案不被反动式叶片的设计者所采纳。因为在单向汽流式汽轮机中，经过轴盘的压力降使轴向力积累起来，造成了止推轴承载的负荷过大，因此在50%反作用式汽轮机中保留鼓形转子结构，剩余的叶片轴向力被转轴末端的高压“平衡活塞”所平衡；用一根平衡管连接到低压带，“平衡活塞”背面的压力则进一步降低了汽轮机的膨胀。 1032

要急剧增加汽轮机最后几个低压级的流通面积，只能采用叶片高度比轴直径增长更快的办法来解决；并且，除非应用扭叶片，否则会引起过高的空气动力损失。1919年，伦敦班克赛德发电站在齿轮传动的轴流式汽轮发电机组的最后一列叶片（叶片顶端与轴壳直径之比为1.9∶1）上，不得不采用扭曲而平展的叶片，以适应叶片速度和蒸汽冲角巨大的径向变化。然而，为了使下游汽流混合时的损失减至最小，要对扭曲程度加以限制，以使叶片的出汽边保持径向恒定的排汽角[9]。

上面简述的设计处理方法，只是应用于低压叶片装置中特殊流动情况的许多理论中的一种。在该装置中，除了叶片顶端与轴壳直径之比较高外，各列叶片间有宽大的轴向间隙，同它们连接的汽缸壁外径处以陡峭的角度呈喇叭状展开。在达里厄（G. Darrius）[10]认识到上述问题以后，随之而来的是使径向气流运动最小化的设计程序。波恰布拉斯基（B. Pochabradsky）[11]和埃默特（H. D. Emmert）[12]力求用扭曲叶片达到径向平衡的办法来提高叶轮的效率。可对于低压汽轮机来说，这些理论模型是不可靠的，还必须采用实验方法。直到1970年（在本章所述时期后许多年）才找到了一个可靠的办法。 1033

从以上论述中，读者可以体会到在本章述及的那个时期中，汽轮发电机的燃料消耗量减少一半是持续发展的结果。机组规模的扩大又

使每千瓦功率的资本投入大为节省。因此，到了20世纪中叶，几乎全部热电站都使用汽轮机，这绝非偶然。

41.3 船用汽轮机

船用汽轮机的发展与陆上发电站的做法迥然不同，因为船用汽轮机需要在高扭矩下有较低的转速（200—500转/分），以避免对螺旋桨产生空蚀。事实上，帕森斯早在他设计的“透平尼亚号”轮船上，就试图避免这种空蚀问题。他把汽轮机分为3个汽缸，各驱动一根独立的轴，轴上有3个串联的螺旋桨。当功率和尺寸增大以后，问题就变得简单些了。获得“蓝绶带”大奖的丘纳德（Cunarder）轮船公司3.8万吨的“毛里塔尼亚号”（Mauretania）轮船（功率为7万马力）的成功就证实了这一点，但是直到德·拉瓦尔采用高速人字齿轮减速装置后，汽轮机才有效地与螺旋桨转速相匹配。

齿轮传动可使机器格外紧凑，这是因为汽轮机可安装在中央大齿轮的外围，通过小齿轮来传递动力，小齿轮的尺寸可造得适合各种汽轮机的最佳速度（图41.4）。于是，单级和双级减速齿轮蒸汽涡轮机就成了当时世界上大型船舶标准的推进器。然而，1940—1950年间，重型柴油机的发展使功率小于8000千瓦的汽轮机失去了经济上的优势。

与带动发电机的汽轮机不同，由于船只机动性的需要，由机械耦合的船用汽轮机必须能反向转动。倒车动力是由一台两排或三排柯蒂斯型复速级式汽轮机恒定地提供的，它和前进汽轮机背对背地安装在同一根轴上，并使用同一个排汽口。这些倒车汽轮机只安装在低压轴上，在船只向前行驶时处于真空状态，因此可避免因风阻带来的动力损失。可根据需要，通过将蒸汽输入前进汽轮机或倒车汽轮机来实现机动航行。

由于汽轮机储能水平高，而倒车汽轮机的效率相对较低（一

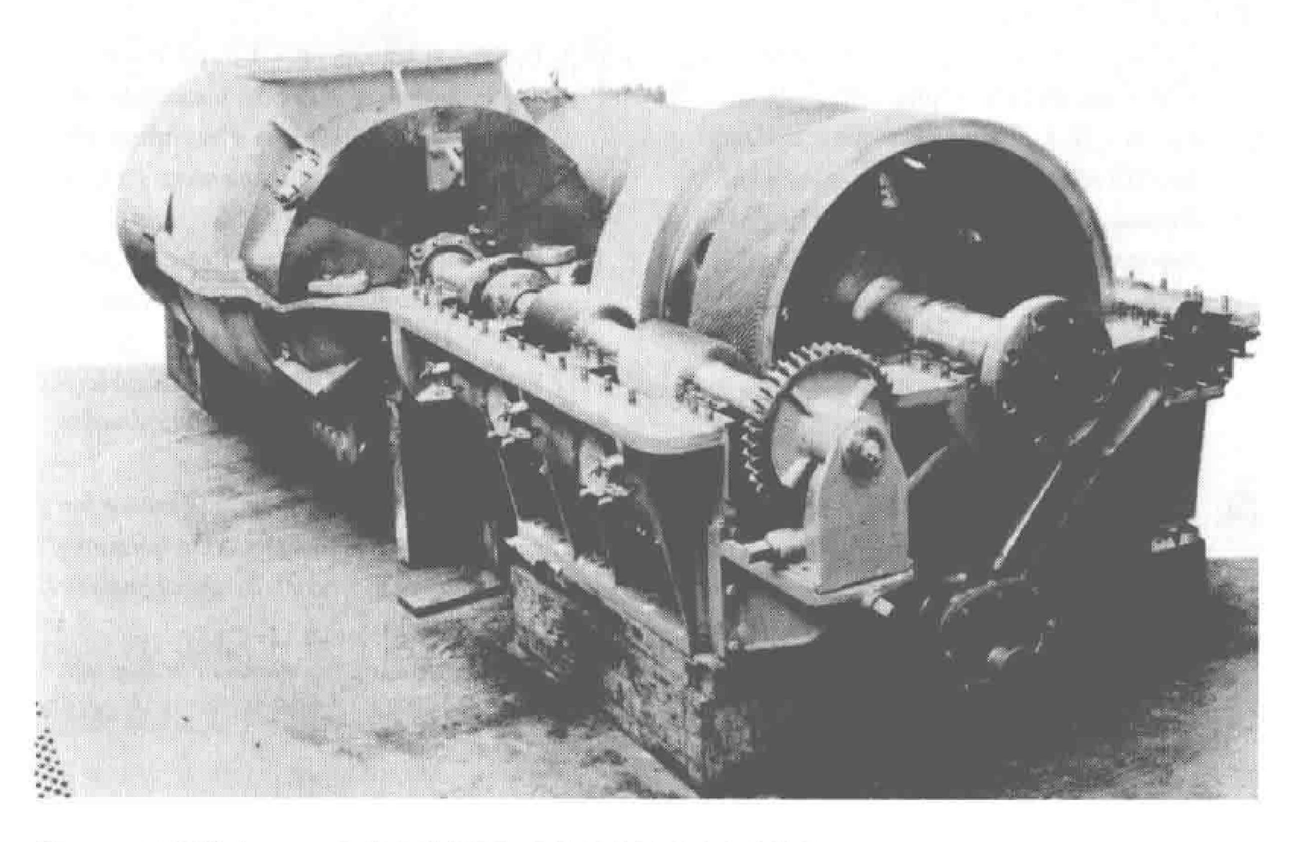


图 41.4　马埃诺（Maheno）的大型船用汽轮机及单级减速齿轮装置。

般约为前进汽轮机的2/3)，需要寻找其他驱动方法以改进机动性。最值得注意的或许是安装在一些美国军舰和法国“诺曼底号”(Normandie)邮轮上的汽轮机电装置了。它包括普通的汽轮发电机组，为跟螺旋桨直接相连的多极低速同步电动机提供电力[13]。最近（指20世纪70年代），液压联轴器和可逆螺距推进器已被认为可用来替代倒车汽轮机，但机械上的困难使设计者未能把它们用到比拖船更大的船舶中去。

相关文献

[1] Stodola, A. *Steam and gas turbines*, Vol. 1, p. 1. McGraw-Hill, New York. 1927.

[2] Kearton, W. J. *Steam turbine theory and practice*(7th ed.), p. 7. Pitman, London. 1958.

[3] Parsons, R. H. *The development of the Parsons steam turbine*, p. 2. Constable, London. 1936.

[4] Turbines, condensers and auxiliaries, feedwater heaters and evaporators. Edison Electric Institution Publications No. R 349, p.26, 1946–1947.

[5] Keenan, J. H. *Thermodynamics*, p.148. Wiley, New York. 1957.

[6] Baumann, K. Some recent developments in steam turbine practice. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, **59**, 565, 1921.

[7] Carr, T. H. *Electric power station*, p.504. Chapman and Hall, London. 1947.

[8] Parsons, R. H. Op. cit. [3], p.136.

[9] Smith, A. Survey of twisted blading development in steam turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, *184*, 449, 1969.

[10] Darrieus, G. *Contribution au trace des aubes radiales des turbines.* Orel Fussli Verlag, Zurich. 1929.

[11] Pochabradsky, B. Effect of centrifugal forces in axial flow turbines. *Engineering, London*, **163**, 205, 1947.

[12] Emmert, H. D. Current design practice for gas turbine power elements. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, **72**, 189, 1950.

[13] The French liner *Normandie. The Engineer*, **154**, 462, 1932.

第42章　机　床

罗伯特·S. 伍德伯里
（ROBERT S. WOODBURY）

20世纪上半叶，机床的发展是基于对高精度、高速度和高生产率的高度专门化机床日益广泛的需求，它们被用于按照部件可互换性原理所进行的批量生产中。汽车工业和后来的飞机制造业是这一重大发展的先驱。这两个工业部门后来成了机床工业的主要客户。因此，机床设计受到这两个工业部门工艺过程特殊需要的强烈影响。然而，这并不是说这两个工业部门是影响这一时期机床发展的唯一因素。使机床达到最大利用率的生产工程之作用，在另一章（第43章）中论述。

1900年以前机床的发展已在第V卷第26章中讨论过。在若干方面出现了对后来具有深远意义的进步。这首先是切削刃本身的进步，它使用了新材料，如"高速钢"、硬质合金刀片及陶瓷刀具。磨床需要非金属合成磨料的磨轮。铣床很快就有了许多种多刃旋转铣刀。而所有这一切导致了对刀具和切削刃工作情况及性能问题的基本研究。切削能力的提高使人们把机床设计得具有更高的速度、更大的强度和刚度，以便充分利用新刀具的潜力。这种趋势表现在车床和铣床上，特别表现在查尔斯·H. 诺顿（Charles H. Norton）在磨床方面的工作中。

在对更高生产效率的要求下，产生了液压和电力驱动及控制，它们不仅用于为满足批量生产的需要而专门设计的机床，而且也用于为一般机械加工而设计的机床。运用计算机、纸带和其他控制系统使机

床在满足专门化加工的同时，又不失灵活可变性，这样做的结果导致了机床的高度复杂化。然而，即使在高生产效率下，对于这种机床操作工的技能要求也并不高。这是机床和其他机器长期发展的继续，所要求的技术已包含在机器自身中，从而对操作工的技能要求就越来越低。经济史学家和其他学者都没注意到，安装和维修工作倒是需要高得多的技能。由于早已把游标卡尺和千分尺应用于车间，高精度的工作就有可能进行。但更重要的一步是要求高精密度的车间标准测量仪器。这一步是随着约翰子逊块规的出现而实现的。

1036

这个时期出现了用于加工金属材料的几种全新工具。某些场合较广泛地应用了拉削和型锻。但最重要的进步是威尔基（Wilkie）所采用的带锯切割金属。在这种工艺过程中，多余金属从工件中被整块地切开，不是被切成小碎片，而是切成相当大的金属块。这样不仅节省时间，而且边角余料还可利用。模锻和压铸法发展神速，只需对工件进行很小量的切削加工。人们采用了某些机械制图技术，特别是公差和表面光洁度的表示法，使图样设计能更快、更精确地转换到金属上。

42.1　车床

到 1900 年，最老式的机床——车床——已相当完善并具备了主要性能。但是，显然需要提升速度、功率、进给量、刚度和精度，也同样需要既能降低对操作技能的要求又能提高生产效率的较复杂的车床。所有这些要素在此后的 75 年中得到了快速发展。由于使用了 1892 年 W. P. 诺顿（W. P. Norton）发明的快速变速箱，20 世纪初的车床就更灵活了。到 1909 年，这种变速箱装置不仅使车床容易改变进给率，而且还能进行不同种类的螺纹切削。到 1920 年，已采用了电力驱动和滚动轴承，并使用了淬硬磨光精密导轨。转塔车床和自动车床到 1900 年已成为工业上最重要的工具。这两种车床已经有盛屑盘、冷却槽、电力驱动、轴速预选和快速横向移动等装置。到 1915

年，出现了通用横向滑板，可以进行成组同时切削。这些装置也出现在追求高生产率和高灵活性的各种自动车床中。而1914年，小布拉德（E. P. Bullard jun）就首先使用了多工位立式车床，车床的专门化更加显著。

然而，在所有的车床里，实际上是在所有的机床中，尤为重要的是刀具本身的发展，以及在车床总体设计中所反映出来的刀具的潜力。供刀具使用的新材料不仅使刀具在尺寸、刚度和功率方面发生了很大的变化以满足高生产率的要求，而且出现了把固态物理理论用于实际切削过程的研究。

到1900年，几乎所有车床的刀具都采用了马希特（Mushet）钢，用铬代替了原有的锰。但是泰勒（F. W. Taylor）和怀特（M. White）创制了一种刀具，大大增长了其稳定性，这种稳定性使切削速度相当于原来的两倍多，可达到60英尺/分，这就是众所周知的高速钢（HSS）。他们所使用的材料并非新型，但热处理方法却是新颖的。从1900年到1910年，可达到的切削速度从大约25英尺/分（7.5米/分）增加到100英尺/分（30米/分）以上。这对车床的发展产生了直接而深远的影响。1906年，由于使用电炉熔化使优质高速钢的制造成为可能，致使车床超出了当时可达到的功率和速度，并一直持续到1920年前后。此后，超高速钢问世。到1940年，由于用较便宜的钼代替了钨，最终克服了实际应用中的困难。

1915年前后，海恩斯（Edward Haynes）设计出了非铁高温合金刀具。在随后的10年中，这些铸造合金刀具开始得以应用。1928年之前，德国出现了第一件成功的碳化钨刀具。这种刀具是由细磨碳化钨微粒和一种钴黏结剂烧结在一起制成的（第Ⅵ卷，边码454）。在20世纪30年代，随着磨刀、焊接火口和脆性等问题的解决，硬质合金刀具的使用大为推广。到第二次世界大战时，硬质合金刀具广泛应用于车床和其他类型的机床发挥出这种刀具可达到的高切削速度的优势。

新兴的陶瓷刀具有着极其重要的用途，它最初始于英国和苏联。后来，美国陆军罗德曼实验室（U. S. Army's Rodman Laboratory）开发了这种类型的切削工具，把它发展到一个相当高的水平。使用具有超常刚度和功率的机床，可以达到极高的切削速度。陶瓷材料和早期为磨轮而研制的磨料非常相似，但这种陶瓷材料用于重型和巨型切削比用于磨轮的快速精密切削要多得多。陶瓷刀具的前途无量，特别是因为它们具有价格低廉和不使用战略性原材料的特点。

所有这些用于车床刀具的新材料，都很容易适用于其他机床的切削工具。

1038

42.2 铣床

1900 年，铣床已经发展到相当高的水平，并在美国和欧洲的机械车间被广泛使用。到 1925 年，铣床适应了立柱、升降台、组合结构、可互换机架、横杆和摇臂等大型结构的需要，其中大部分是霍尔茨（Fred Holtz）和德莱乌（A. L. DeLeeuw）的工作成果。这个时期，铣床的最重要进展之一是恒速齿轮传动装置以及把彼此独立的主轴与进给驱动装置按几何级数关系联合起来的部件。关键在于采用了局部电力驱动。恒速传动装置最初是由帕克（John Parker）于 1900 年设计的。这个机械装置使应用恒速电动机进行电力驱动成为可能。用于铣床上的复合转刀是霍尔茨和德莱乌从 1908 年开始的研究项目，此后直到 1926 年后铣床设计方从摸索阶段发展成一种工艺。

各种类型的专业化铣床出现了。这包括把立式铣床改造成坐标镗床，从而使相对无特殊技能的工人能够把精密模具广泛应用于高精密工作和高生产率的机械加工中。

甚至在大工件的加工中，庞大、重型和大功率的铣床很快代替了刨床和牛头刨床，因为这种机床使用宽型刀具，能进行更高速的加工，而且表面光洁度更好。早在 1913 年，已为福特汽车公司制造了汽车

工业用的专业化铣床。在索尔·爱因斯坦(Sol Einstein)、黑兹尔顿(Hazelton)和德莱乌的工作基础上，从1910年起各种不同的自动控制装置大量生产出来。到1927年，液压传动已用于铣床中。到1932年，立式铣床被用于自动制模。到1927年，机床的电气或液压控制已使用仿形器、纸带和电子控制。到20世纪上半叶后期，为美国空军研制出了一种叫作M.I.T.的纸带控制铣床，它能够快速、方便地调定，非常灵敏地进行短周期的高速机械加工。此后不久，铣床和其他机床甚至已经使用计算机直接控制。

如同车床一样，我们也在铣床中看到对高速度、高精度、高生产率以及高灵活性的要求而带来的影响。而对刀具的科学分析表明：更大功率的驱动装置、更大的尺寸、刚度和复杂性，以及降低劳动成本的自动化装置的引入，使以上要求有可能实现。

1039

42.3 齿轮切削机床

汽车工业不仅需要量大价廉的新型齿轮，而且需要淬火的精密齿轮，其硬度可抵抗很大的磨损，同时平稳而安静地运行。这就意味着在工件形状很难加工的条件下，要达到高精度和高生产率。此时，齿轮切削机床的基本式样已发展起来，对小型淬火零件的磨制因能获得良好的表面光洁度而被广泛用作精密生产的一种手段。但这种磨制过程太慢，且成本高，甚至用费洛斯(Fellows)插齿机自动生产非淬火齿轮也同样如此。该问题的解决办法是通过使用滚铣砂轮或成形磨削刀具来制造齿轮。但是，这产生了一个特殊问题。在使用金属刀具时，刀具都会有一定的磨损，但是这种磨损很小，而且可以直接通过再磨锐来解决这一问题。然而，在磨削过程中，磨削刀具本身的磨损却相当快。实际上，控制磨损的办法就是当砂轮的微小刃口磨钝时，就换一个锋利的新砂轮。所以，在磨削进行的过程中，适当的磨损是难以避免的。这就意味着必须补偿砂轮的磨损，而且最好是自动补

偿。1899年，利兰（H. M. Leland）和福尔克纳（Falconer）在为无链自行车淬火齿轮磨削齿牙时有了一个开端。1908年，沃德（Ward）和泰勒（Taylor）发明了关键性的磨削淬火齿轮。他们的装置采用了两把钻石刻刀，以纠正受磨损的成形砂轮的形状。这个装置不仅可以自动维持正确的形状，而且成形砂轮所产生的磨损也自动地得到了补偿。

专门为汽车淬火齿轮设计的第一台磨床是德国的赖内克尔（J. E. R. Reinecker）研制出来的。几乎与此同时，瑞士厄尔利孔（Oerlikon）公司生产了另一种稍微不同的齿轮磨床，它广泛地应用在汽车制造业中。为了保证齿轮具有为平滑运转和最小磨损所必需的精度，工艺上也要求把1921年哈特内斯（Hartness）螺纹比较仪的原理应用到齿牙的测量上。

1041

42.4 车间精密测量

上述有关机床的种种发展，使各种机器和装置的设计者们有可能对加工精度提出越来越高的要求。布朗（Joseph R. Brown）1851年发明的游标卡尺和1867年发明的螺旋测微器，到1890年成了每个机械师工作台上必备的精密测量工具。19世纪末20世纪初，车间中需要精度标准，这一点显而易见。这种标准和机械制图标准化方法同时并用，就能生产出全世界都通用的可互换的部件。精度标准用于校准车间的千分尺上，是由一个名叫约翰逊（C. E. Johansson）的瑞士技术员先认识到的。他凭借自己的独创性和锲而不舍的研制，于1898年发明了块规（图42.1）。到1907年，约翰逊已把他的块规系统和巴黎的标准米以及制造块规的钢材之物理性能科学地联系起来。这种块规能否制造成功并投入实际应用，取决于能否获得高光洁度的绝对平整的表面、相互间的完全平行，以及精确标定的尺寸。约翰逊凭着自己高超的手工技巧实现了这些要求。起初他自己做，后来他的家人也来帮忙。最后，他训练其他人来进行这项工作。从事这项工作的机械方法



图 42.1 约翰逊块规。

是由美国标准局的霍克（Major Hoke）于1918年创造的，可是至今大多数机械师仍把这种块规称为“约翰逊块规”。用切成特定尺寸、大小不等的条块巧妙地配成一组，便可在很大范围里得到任意规格的块规，这与其高精度同等重要。尽管后来有许多种测量方法——电子的、气动的和液力的方法——发展起来，车间里仍保留着这种块规作为精确测量的标准。

42.5 磨床

自从莫兹利（Henry Maudslay）（第Ⅳ卷，边码423—431）发明了具有精密导螺杆和精密导轨的全金属车床以后，具有重大工业价值的两种新机床出现了：布朗1861年发明的通用铣床和查尔斯·H. 诺顿1900年发明的可加工大工件、具有高精密度和高生产率的磨床（图42.2）。

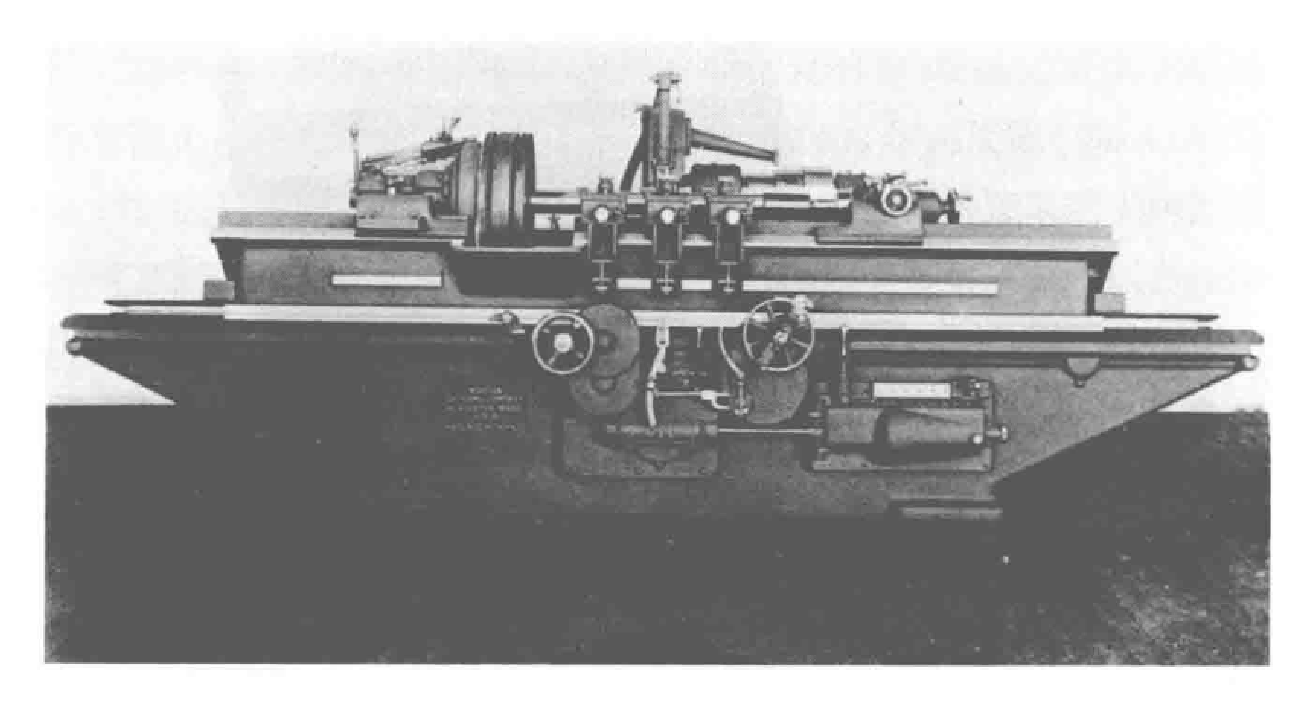


图 42.2 早期的诺顿磨床，1900 年。

诺顿的机床不仅在汽车工业中快速发挥了重大作用，而且其基本技术迅速得到广泛运用，大量应用于非常专业性的工作，如蒸汽机车的制造。这种基本技术也导致了希尔德（James H. Heald）的行星齿轮式汽缸磨床、自动球轴承磨床、自动螺纹磨床和 1915 年海姆（L. R. Heim）研制的无心磨床的出现。但最重要的是，这种基本技术导致了砂轮及磨削学科的产生。它源于格斯特（James J. Guest）1915 年的工作。

福特（Henry Ford）宣布他的汽车必须轻便、坚固、安全、便宜，而达到上述要求的唯一方法是在汽车设计时，在某些重要部位使用各种淬火合金钢。但与此同时，精度和一定程度的表面光洁度也同样重要。在 1900 年以前，通过磨削才能得到这些技术效果，但成本高昂，且靠手工操作，磨削技术运用得很少。为了符合福特的要求，以下两个全新的条件必须满足：第一，砂轮价格便宜，数量大，并具有公认的可控制特点，能够使其性能适应不同的磨削工艺。第二，磨床能够以一定生产规模进行大量、准确和快速的磨削，而且成本低廉。这两方面问题由查尔斯 · H. 诺顿的工作而得到解决。同时，汽车制造业

和许多效仿者以及其他重工业也对解决这两方面问题作出了贡献。

砂轮问题的解决，有赖于两种人造磨料的发明：碳化硅和氧化铝。碳化硅，它的商业名称“金刚砂”(carborundum)更为人熟知，是艾奇逊(Edward G. Acheson)的发明。这是他在试图制造人造钻石时偶然发现的。不管怎样，艾奇逊意识到这种新磨料的重要性及其在产品磨削中的潜在作用。金刚砂轮早在1898年就显现出商业价值，虽然那时还相当昂贵。这种砂轮的某些局限性在后来10年中得以克服，至今在某些方面仍具有重大应用价值。

人造氧化铝磨料，商业名称为“刚玉”(alundum)，是雅各布斯(Charles B. Jacobs)于1897年以实验室实现规模制造的。雅各布斯的发明被诺顿金刚砂轮公司[1]采用了。该公司进行了大规模的试验。到1906年，诺顿砂轮上的金刚砂和天然氧化铝完全被人造氧化铝所替代。诺顿公司用特高纯度的铝矾土进行了进一步实验。到1910年，磨床实际操作者可以方便地在固体砂轮中使用多种类型及不同等级的人造磨料，而且这些磨料性能明了、统一。操作者在使用这些磨轮以这种金属加工工艺所固有的精度进行工作的过程中，还可获得足够的信息。那么，所需的一切就是要有一种能充分发挥磨削工序的磨床，使得它能用这些砂轮生产出精密产品，特别是淬火合金钢部件的精密产品。这种机床是查尔斯·H.诺顿的研究成果。

1043

诺顿在布朗-夏普公司及其他公司的工作中，积累了磨削问题的大量经验。在1896年回到布朗—夏普公司后，他的思路变得很清晰。他设想把更宽大的砂轮用于进给和快速横向双重磨削中，也考虑到用成形砂轮。他设想使用特大型和刚性特高的机床，正像他自己所写的：“……我们能够用机床本身制成一种精确的螺旋测微器。”而所有这一切也将要求一种功率大得多的机床。他知道这种机床对砂轮的消耗非常迅速。他也知道，砂轮、机床和动力的费用会很大，然而

1 不是以查尔斯·诺顿的名字命名的，而是以比他早得多的、与他无关的另一个诺顿命名的。

所节省的时间和劳动力成本——在几乎所有的工业制造中最昂贵的项目——是上述增加的费用所不可比拟的。诺顿的设想在布朗—夏普公司受到的只是奚落。于是，他毅然离去，来到诺顿公司。诺顿公司给他充足的设备和研究自由去设计和制造一种体现他精密磨削生产设想的真正磨床。1900 年，他完成了两台这种磨床。这是一项巨大的成就。从此之后，诺顿的工作主要是把这些原理应用到汽车工业中的具体问题上去。到 1905 年，他的曲轴磨床能在 15 分钟里完成原先熟练工用手工要花 5 小时才能完成的工作。诺顿的曲轴横向进给磨削的效果甚佳，不仅大大节省了劳动力成本和时间成本，而且工件的精度和表面光洁度也都更高。到 1910 年，他又制造了一台专门为汽车发动机淬火凸轮轴生产而设计的磨床。这段时间，为共同解决批量生产中的问题，磨削工程师们坚持同汽车业工程师们合作。诺顿公司创建了一个研究实验室，它是第一批工业研究实验室之一，对磨削进行全面的基础研究。

诺顿所做的一切充分表明磨削是一种快速、灵活而又经济的生产手段，并显示出磨削是 1900—1915 年间生产领域戏剧性变革中最重要的组成部分之一。他的成果和方法被迅速地应用于许多生产过程。其中，我们至少要提及希尔德(James H. Heald)的工作，以及他 1904 年的活塞环磨床和 1905 年的行星齿轮式纺锤形汽缸磨床。这是内燃机精密汽缸生产中的一场革命。而诺顿的坎坷和瓦特在加工蒸汽发动机汽缸时所遇到的困难相比，微不足道！

1044

磨削生产的下一步是高速、自动。显然，具有这些特性的机床其砂轮磨损得相当快，甚至达到了设计磨损率。因此，自动高速磨削生产的基本问题是制作一种装置来自动控制尺寸。具有这些特点的磨床通常都是高度专门化的。所以，许多机床制造者生产了各种各样的机床——布里恩特(Bryant)、希尔德(Heald)、普拉特(Pratt)和惠特尼(Whitney)。布朗—夏普及兰迪斯(Landis)的机床，到 1930 年都先

后问世。与此同时，适于更广泛用途的磨床出现了。随着沃克（O. S. Walker）1896年磁性卡盘的发明，平面磨床能轻而易举地牢牢夹住小工件而不变形，适合于砂轮轻度接触，从而使磨削法中固有的高精度和良好的表面光洁度成为可能。成形磨床和螺纹磨床能够加工那些用其他方法不易加工的由太硬（或太软）的材料做成的齿轮、蜗杆和螺杆，并加快了生产速度，降低了成本，尤其适用于飞机工业。使用无心磨床很快便实现了某些部件（包括硬材料和软材料）的全自动加工，达到了高生产率和低成本的目的。1925年，辛辛那提磨床公司根据海姆1915年的研制成果，把这种磨床推广到工业生产中。

标准磨床和专用磨床在许多工业部门的应用使加工过程简化、费用低廉，这在过去是不可能的，特别对汽车工业更是如此。汽车工业成为金属加工工业的最大一个部门。磨床塑造了何为高质量机器生产加工的现代观念。它甚至造就了整个工业，否则工业将不知从何而来。

我们只需从汽车在经济、社会、政治甚至军事等方面对我们整个工业化生活方式所产生的巨大作用上，便可看到查尔斯·H. 诺顿的影响。对于成千上万每天开着汽车的人来说，几乎没人听到过他的名字。机床使批量生产成为可能。这奠定了我们工业社会中高水准生活的基础，但绝不能把社会生活中所固有的社会、经济和政治问题归咎于机床。

1045

参考书目

Althin, T. K. W. *C. E. Johansson 1864–1943. The master of measurement*, Stockholm. 1948. [Written at Johansson' s own desk and with full access to all his papers.]

Booker, P. J. *A history of engineering drawing*, Chatto and Windus, London. 1963. [Indicates the interaction of advances in engineering drawing with the tools used to create their devices.]

Feldhaus, F. M. *Geschichte des Technischen Zeichnens*, Wilhelmshaven. 1959.

Garanger, A. *Petite histoire d' une grande industrie.* Societe d' edition pour la mecanique et la machine-outil, Neuilly-sur-seine. 1960. [Full of data on world-wide machine tool production.]

Matschoss, C., and Bihl, A. *Schiess, ein Beitrag zur Geschichte des deutschen Werkzeugmaschinenbaues*, VDI-Verlag, Berlin. 1942. [Contains some splendid drawings of machine tools.]

Nedoluha, A. Kulturgeschichte des technischen zeichens. In *Blätter für Technikgeschichte*, Vol.21. Vienna, 1959.

Rolt, L. T. C. *A short history of machine tools.* M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1965. Simultaneous publication as *Tools for the job*, Batsford, London. 1965. [The best general introduction to the history of machine tools. Supersedes J. W. Roe, *English and American tool builders*, Yale University Press, New Haven. 1916.]

Rosenberg, N. Technological change in the machine tool industry, 1840–1910. *Journal of Economic History*, **23**, December, 1963. [Economic history of machine tools.]

Shaw, M. G. Development of the lathe in the U.S.A. Unpublished paper, *c.*1960, in the files of the Department of Mechanical Engineering, M.I.T. [Written by a distinguished engineer who played an important part in the application of solid-state physics to metal cutting.]

Steeds, W. *A history of machine tools, 1700–1910*, Clarendon Press, Oxford. 1969. [Excellent photographs and drawings of largely British machine tools.]

Wagoner, H. D. *The U.S. machine tool industry from 1900–1950.* M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1966. [A detailed study of the machine tool industry, principally in the U.S.A. Emphasis on the economic factors.]

Wittman, K. *Die Entwicklung der Drehbank bis zum Jahre 1939*, VDI-Verlag, Cmbh., Düsseldorf. 1960. [A doctoral dissertation. After 1850 largely a chronicle of patents, with little anlysis or interpretation, but an invaluable source.]

Woodbury, R. S. *Studies in the history of machine tools.* M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1972. The gear cutting machine ; The grinding machine ; The milling machine ; The lathe to 1850.

第43章

生产工程

F. 柯尼希斯贝格尔（F. KOENIGSBERGER）

1046

在统称为“生产工程”的各个领域中，存在着能够引起一个时期经济或生产技术变化的种种因素，它们之间的相互作用关系相当复杂，往往难以辨明。在许多情况下，技术进步给设备的设计和应用带来了新思想。在另一些情况下，新的设计思想要在大量的技术研究开发工作之后才能实现。新产品的出现往往对生产方法提出新的要求。技术开发的经济问题和技术革新的源泉问题都是很重要的课题，分别以专章(第Ⅵ卷，第2章、第3章)论述。

从1890年到1960年，几乎整个时期都可以观察到一个显著的特点：技术的发展趋向于以科学为基础的方法，或者至少以系统化了的经验方法，来解决生产本身所提出的各种问题。生产工程领域中第一批基础性著作之一的标题中就有“科学的”(scientific)一词，这并不是偶然的[1]。尽管同一位作者又选用“金属切削工艺”作为他另一部经典著作的标题[2]，然而它的基础之一就是确定刀具寿命和切削速度之间的数学关系，即所谓的泰勒公式[1]。实际上，这进一步表明了泰勒(F. W. Taylor)的远见卓识：为了在生产现场获得成功，就必须把科学研究的成果与工匠的经验知识结合起来。新机器和新制造方法尚

1　刀具寿命（T），即到需要再次研磨之间的时间，和切削速度（v）成双曲线函数下降。通用公式为：$T^y = C_T/v$，其中，y取决于工件和切削工具的材质，C_T是刀具寿命为1分钟时的切削速度，被称为泰勒常量。

不足以保证进步，还必须把它们结合到有人参与的生产系统中去。

1047 必须强调，一种新事物的出现并不总是意味着一定要完全抛弃已有的做法。新材料、新方法、新工艺或设备的新零件能使生产工程师作出安排，以使某些作业进行得更快、更容易或更有效。然而，对另一些作业来说，使用已有的老方法却更有利。例如，下列事实很有意思：今天尽管已经研制出性能更高的切削材料，但在全部机械切削加工中仍然有 50%左右使用高速钢(HSS)刀具。

43.1 影响生产工程的因素

在我们所考察的时期中，下述因素的产生、运用和相互关系引起了——或至少影响了——生产工程的发展。

设计和制造各种产品所采用的材料 新的材料（表 43.1）的加工性能，如可切削性、可模锻性和可焊接性等，经常会产生一些不能通过已有的经验和工艺来解决的问题。另一方面，新材料的应用为技术和经济提供了不可忽视的机会，因而急需创造新的生产方法和生产技术。

表 43.1 几种结构材料

结构材料	工业应用年份
蒙乃尔铜—镍合金（耐蚀合金钢）	1905
不锈钢	1912
合金钢、聚氯乙烯、聚乙烯	1920—1945
超高强度钢（150kp/mm^2）	
耐热钢、粉末冶金材料、铍、锆、增强塑料	1945—1960

资料来源：鲁伊斯（C．Ruiz）[3]。

刀具材料 在 1900 年的巴黎博览会上展示了高速钢刀具的切削性能，这是“人类历史上的一个里程碑”[4]。这种刀具材料是由著名

1048

的科学管理之父泰勒和冶金学家怀特（M. White）在美国合作研制出来的。它含有钨和铬，后来又加入了钒，使切削速度提高到原来的3倍。

在高速钢被采用后的几年，又研制出一种名叫“斯泰利特”（Stellite）的可铸造成形的刀具材料，它的主要成分是钨、铬、钴、钼和碳。它有较好的耐热性和更高的切削性能（切削速度比高速钢高80%）。然而，由于它铸成后的晶体结构比较脆，对冲击荷载比较敏感，因此不能用于间歇切削，如车削多槽轴和铸件等。

随之而来的主要发展成果，是在1927年莱比锡（德国）机械加工刀具展览会上出现的。克虏伯-埃森公司（Krupp-Essen）展示了他们的“Widia”（即WIe DIAmant——类金刚石）。这是一种烧结的碳化钨硬质合金，在美国叫作“Carboloy”，在英国叫作“Wimet”。用这种材料做切削刃，不仅能达到两倍甚至三倍于高速钢刀具的切削速度，而且能切削当时还根本无法切削加工的材料。这些发展成果对于机床（第42章）设计的影响将在后面叙述。

20世纪50年代，金属陶瓷即陶瓷切削材料（矾土）的采用，展现出远大的前途。然而，由于它缺乏韧性，抵抗热冲击的性能很差，所以使用范围有限。它主要用于连续性（车削）作业，不能用于间歇性（铣削）作业。但一旦采用它，切削速度还能进一步提高（表43.2）。

在泰勒制造高速钢的同时，砂轮材料领域也出现了类似的进展（边码1041）。查尔斯·H. 诺顿（Charles H. Norton）承担了开发高性能磨床的任务，在工作过程中研究了已有砂轮的性能。到19世纪80年代，金刚砂已被用作砂轮的材料，但天然状态的金刚砂质量高低不一，相差很大。人工合成的研磨材料，如纯刚玉（Al_2O_3）或通称金刚砂的碳化硅（SiC），质量就比较一致。两者都是在19世纪90年代被制造出来的。另外值得一提的是，后来又研制出用于特殊磨削作业的以橡胶或树脂为结合剂的金刚石砂轮，以及含有人工合成立方体形的氮化

1049

硼(Borazon)的新型砂轮。氮化硼虽然不如金刚石硬，但比金刚砂或碳化硅要硬得多。

表 43.2　金属陶瓷的切削速度

工件材料	切削速度（m/min）	
	首次使用该材料时	1960 年
铝	150（1915 年）	3000
铝合金	40（1920 年）	300
碳素钢（$60kp/mm^2$）	30（1920 年）	100
钛	15（1950 年）	50
高强度钢（$150kp/mm^2$）	15（1960 年）	20

资料来源：默琴特（M. E. Merchant）[5]。

直到 1904 年及以后的几年中，诺顿发表了一系列论文，报告了他近 15 年来的研究成果，主要是关于砂轮等级和速度同工件性质和其他要求的关系。1908 年，由科尔文(F. H. Colvin)和斯坦利(F. A. Stanley)主编的《美国机械师》(*American Machinist*)，即磨削手册出版了。该手册与泰勒出版的关于单刀切削加工的手册一样，为人们提供了许多数据。

加工方法和工艺　20 世纪前半叶，工程制造领域引进了许多新方法：

(1)模制和成形方法(熔模铸造、压模铸造、热压、钢材冷锻和粉末冶金)；

(2)金属切削方法(滚削、拉削、大件磨削、无中心磨削、电火花加工、电化学加工、超声波加工和激光切削)；

(3)焊接和切割(有包剂焊条和无包剂焊条的电弧焊、原子氢焊、铝热剂焊、使用粉状焊剂和包剂焊条的自动电弧焊、CO_2 焊、惰性气体焊、点焊和电火花对接焊、电渣焊及电子束焊)。

加工设备 为了充分利用新刀具材料的高性能，必须根本改变机床的设计，使它能够传递所需的动力，并且在切削刃的作用力下具有足够的刚度。采用独立的电动机驱动机床是走向高效率的又一重大步骤。在一些工厂里，动力轴和锥轮传动方式还继续存在了许多年。（甚至20世纪70年代还存在！）但自1906年以后，由于独立电力驱动在操作上更安全、更简易、更有效，更由于采用了多刀具作业和负前角刀具，使用了很高的切削速度，对动力的要求进一步提高，因此独立电力驱动占有了越来越多的领域。到20世纪50年代，甚至某些中等尺寸的机床也配备了功率为25—50千瓦的电动机。

1050

在实验室中被证明成功的加工方法，只有在设计和制造出适用的车间设备之后，才能为工业生产所利用。1897年，普福特（Pfauter）公司制造出第一台通用滚齿机；1902年，拉波安特（Lapointe）公司生产出第一台拉削机；1922年，辛辛那提公司生产出第一台无心磨床。

对切削工具性能的研究工作，并不限于新材料的开发。辛辛那提铣床公司的德莱乌（A. L. DeLeeuw）的研究工作，使设计和制造出来的铣刀比以前（1904年）的齿数更少、强度更高、齿距更大；同时，仔细地确定各种特定用途的最佳前角并采用螺旋切削面，使一定动力下的金属切削率得以提高。

诺顿研究砂轮性能的成果，不仅使一定宽度砂轮的金属磨削率得以提高，而且还能够生产出更宽的轮子，从而提高每分钟的金属磨削率。他还引入了平衡砂轮和整修砂轮的新方法，在1900年不仅成功地把磨削用于精细的表面加工，而且还用于大量切除金属的作业。在这一工作的基础上，他设计并制造了大工件磨床（边码1040）。

机械加工设备方面的进步，并不限于提高金属切削率。对机床和质量控制设备所做的大量研究工作，切实可行地提高了精度。1805年，莫兹利（H. Maudslay）制造出测微螺旋仪，用于精密测量（2.5微

米)。1951 年，惠特沃思(J. Whitworth)所造的仪器能够测出 0.025 微米。1900 年左右，美国的布朗 - 夏普公司制造出普通机械车间使用的螺旋测微仪(可测出 10 微米)，并由丘吉尔(Charles Churchill)引入英国。接着，千分表(2.5 微米，1920 年前后)、机械比较仪(1 微米，1930 年前后)和电子比较仪(0.1 微米，1948 年)相继投入使用。另外还有里森(R. E. Reason)著名的泰勒 - 霍布森仪(0.025 微米)，用

1051

来测定表面光洁度的粗糙度检测仪(1940 年)，以及用来测量圆度的圆度检查仪(1954 年)。

为了在生产中(特别是批量生产中)保证精度，机械车间需要精密设备，尤其是精确的卡具和夹具。为了满足这种需要，日内瓦物理仪器公司(SIP)于 1912 年生产了一种能够在需要钻孔的地方精确地定位圆孔中心线的机器。这种机器在圆孔中心的坐标位置上打出一个中心冲孔的标记，然后用显微镜来检查。这种机器是著名的 SIP 坐标镗床的前身。起初，它是用丝杠操纵的具有两个坐标轴的平台来定位的(每一丝杠的误差由凸轮操纵的矫正器来消除)；后来(1934 年)，由液压操纵并由光学仪器测量，在钻孔作业中能够保证两根轴线的精确定位(2 微米以内)。

一旦大规模制造的生产手段达到了很高的标准，就必须在实际中保证满足规定的性能要求。

生产车间里的机床必须能够做到：(ⅰ)稳定并尽可能不依赖个别操作者的技能，在规定的形状、尺寸和表面质量的误差范围内生产工件；(ⅱ)利用工艺开发所提供的条件，尽可能使用与之相适应的操作速度和金属切削率；(ⅲ)在工业生产的实际条件下，在合理的技术和经济周期内维持其性能。

20 世纪 20 年代以前，一直靠机床制造商和使用者的主观判断来评估机床的性能。因此，很明显，为了保证把机床的性能维持在最低许可值以上并把价格保持在有竞争力的水平上，必须建立某些标准。

这些标准必须在机床制造商装配他的机器之际，以及使用者把机器放进车间中运行之前发挥作用。许多机床制造商已为他们的产品精度建立了自己的保密标准。然而，顾客无法得到这些标准，因而没有一个尺度来衡量他们应该而且有权要求的东西。

1927 年，施莱辛格（G. Schlesinger）首次出版了他的验收检验标准[6]，为当时使用的大多数标准机床确定了测量的方法和允许的校正误差。为了把机床在种种操作条件下的性能也包括在内，萨蒙（P. Salmon）[7]在施莱辛格的验收检验标准［他称之为“几何检验”（vérifications géometriques）］中，增加了机床检验标准［“实践检验”（épreuves pratiques）］。

1052

人们积极地接受和应用检验规范，这就证明了人们确实需要它。萨蒙的书在 1943 年重印。施莱辛格的书在初版之后又出版了德文版第二版，并被翻译成法文（1929 年）、日文（1930 年）、英文（1932 年）、俄文（1932 年）和意大利文（1937 年）。施莱辛格和萨蒙的书成为现今国际和国家标准的基础。

由于机床已被改成或专门设计成数控式的或配有数字显示装置的机床，施莱辛格和萨蒙的检验标准无论如何就不够用了，这不仅是因为这样的机床必须在不受操作者干预的情况下能达到工作精度的要求，而且还因为通常的机械加工顺序也必须有更高的内在精确性。于是，20 世纪 50 年代和 60 年代制定了附加的检验方法和规程。

设计、规划和控制设备 有助于提高设计、生产、管理和控制的新概念、新方法、新技术和新设备的共同发展，促进了新材料、新机床及先进的加工方法得到更快、更有效的利用。

标准化非常有助于设计的效率和制造的经济性。早在 19 世纪中叶，人们就已经认识到减少种类和增加互换性是改善生产经济性的重要手段。当时，惠特沃思（第Ⅳ卷，边码 433）为最常用的机器零件和螺纹[8]建立了标准，并且倡导把尺寸和规格的数目减至最少[9]。

而勒纳尔(Colonel Renard)上校于19世纪80年代，安德鲁安(J. Androuin)于1917年，发现了优先数系，即以$\sqrt[10]{10}$、$\sqrt[20]{10}$和$\sqrt[40]{10}$为基级的十进位几何级数，它包含数字1和带有合理精确度的π。仅在此以后，尺寸、规格及其他数值的大规模标准化才有了可能。

在两次世界大战之间，材料性能、尺寸和形状、公差和配合、机器零件和部件(螺丝、螺帽、垫圈、键、键槽、轴、齿轮等)以及机床主轴转速和进给量的标准化，有助于减少设计和计划的工作量，降低加工和制造成本。标准化还简化了采购、测试、检查和仓储的过程。

1053

标准化中一个非常重要的组成部分，即对可互换性生产有很大经济意义的部分，就是公差和配合规范的确立。1902年，纽沃尔(J. W. Newall)根据英国各类工厂的实践经验，出版了标准公差表。1906年，公布了第一个关于公差和配合体系的英国标准(BS27)；1921年，公布了德国标准(DIN772—774)；1925年，公布了美国标准。

1928年，国际标准协会(I.S.A)[1]第三委员会的成立是在这个方向上迈出了最重要的一步，它以全世界所使用的许多国际工业标准和国家工业标准为基础，公布了国际公差和配合体系，包括1932年和1938年的暂定稿，以及1942年的终稿。

标准化也为设计工作者手册和计划工作者参考书的编写提供了可能性。1856年，德国的《冶炼厂》(*Hütte*)一书首次出版；1914年，第一部机械制造《手册》(*Handbook*)问世。这两本书为设计工程师带来了方便。20世纪20年代至30年代，供机械车间计划工程师使用的介绍切削速度和进给量的手册在德国(A. W. F. Richtwerte[2])和美国[A.S.M.E.的《金属切削手册》(*Manual on cutting metals*)]出版。20世纪40年代和50年代，焊接越来越成为一种重要的工艺方法，出现了

1 今天称为I.S.O.(国际标准组织)。

2 Ausschuss für Wirtschaftliche Fertigung(经济生产委员会),《指导标准》。

介绍焊接规程的手册。这些标准与其他标准年复一年地被使用，包含在这些出版物中的某些信息被收集到“数据库”中，这就使生产工程师们能够用计算机这一新工具来进行设计、规划和控制。

43.2 生产率

通过提高切削速度和采用更强有力的机床而可能达到的金属切削率，以及更快的铸造与成形工艺过程，导致了实际加工过程的操作速度并不能根据“停机到停机”的加工时间来确定。如果要使高速运转带来实际利益，就必须减少工件定位、装卸和检查的时间。而且，如果这些“附属”时间是花在操作者操纵和夹紧部件、定位刀具、移动操纵杆等动作上，要减少这些时间就只有要求操作者干活更卖力、更快速。这在一定限度内是可能的，但也只有与适当的激励相结合才能做到。因此，合乎逻辑的一步是由机械设备来执行那些本来由人承担的任务，它一获得适当的信号就能提供必需的能量来完成工作。操作者按一下按钮或移动一下操纵杆就能立刻启动机械驱动的进给装置，电力推进的焊枪，机械操纵的压模铸造或锻压作业，使高炉中的金属通过输送机直接流入铸模。换句话说，由操作者给出信号，由机械力提供能量。为了做到这一点，就必须在实际操作开始以前，先把刀具和工件定位与夹持设备的设置工作做好。这特别适用于多刀具作业中的刀具设置，适用于转塔车床或六角车床的六角头。

1054

操作者借助电力、机械力或液压力（第 44 章）启动的机械设备，不仅用于设置、切削和进给等动作，而且也用于驱动速度的变更和工件夹持设备。合乎逻辑的第二步是用定时器或程序控制器，如旋转的凸轮轴，来代替操作者的职能发出启动信号。这样的机器由于不再需要操作者而被称为“自动机”。然而，把机械操作和真正的自动控制区别开来仍很重要。

在控制动作中，供给执行实际操作动力的启动信号，可用下列方

式产生和传递：

（ⅰ）例如，在大多数自动螺纹机和转塔式“自动机”中都可找到借助于以给定速度旋转的凸轮轴，在指定的时间间隔发出信号［斯潘塞（C. M. Spencer），1873 年］。

（ⅱ）例如，在刀架动程中间或末尾设置挡块、自动爪和标准靠模，使它们起操作功能发送信号［仿形切削加工，费歇尔（A. G. Georg Fischer），瑞士，1938 年］。

（ⅲ）根据预先设计好的操作次序所指定的条件（切削速度和进给量）发送信号。这样的“程序”可以储存在插头板、穿孔卡、穿孔带或磁带中（麻省理工学院于 1947 年研制出数字控制，约于 1954 年首次投入使用）。程序可以做成以实际操作结果的测量值为自变量的函数，如测出刀架滑板的进给长度或加工所产生的尺寸，并把这些测量数值与程序所要求的数值进行比较（反馈）。这样，只有当实际值与要求值在预定的公差范围内保持一致时，才会给出停止一个操作并启动下一个操作的信号。数字控制可用于纵向、竖向、横向或旋转运动的调整（定位控制），也可用于相互联系的同时性的进给运动做仿形操作（连续轨迹控制）。

1055

这个发展的最新一步（被称为“适应”控制）检查和调整切削状况，使其适合材料、表面光洁度等主要要求，所以它在完全代替会思考的人类操作者这个意义上，提供了真正的自动化。这种自动化完全有可能做到，这不仅是由于生产工程领域所取得的成就，而且还由于光学（精密测量）、电子学（数据传输，特别是用电子计算机进行数据处理）、电气工程和液压动力学（动力供应）以及通信和控制科学（控制论）等领域所取得的成就。

20 世纪前半叶，机械化和自动化的发展并不限于单个机器。机械化和自动化得到更广泛的应用，具体体现在在“连络线”（link line）和“传送带”上把工件从一台机床输送到下一台，用给料器或

输送机供应材料等。

机械化适合不同用途的程度，取决于产品的种类和数量。例如，传送带和专用机床适用于汽车的大量生产，而标准通用机床之间的连络线也能用于中等批量的生产。

生产质量 人们早已认识到可互换性对于装配作业的效率和经济性具有重大作用，然而人们还是惊叹它在大规模生产中所取得的成就（第Ⅳ卷，边码438）。认为批量生产就意味着质量和精度不高，这个错误概念在第二次世界大战期间一再被否认，那时复杂的战争装备的批量生产要求部件的质量必须达到很高的加工精度。为了使检查人员能够确定加工出来的部件是否满足指定的精度要求，必须研制非常精密的测量手段和质量控制手段。机械化和自动化方面的进步保证了专用机床、机械化“自动”车床以及在批量生产或极大批量生产中使用的类似机床都能在工作质量上获得比较好的一致性。数控自动化在小批量和中等批量的生产中也能保证同样好的一致性，即使不能达到更高的一致性。

1056

43.3 工作场地、设备和人力的利用

只有应用科学的、有组织的管理方法，才能获得已有技术进步的全部利益。如果以最少的人工并把原材料成本和建筑物、工作场地和设备的投资也控制在尽可能低的水平上来进行生产活动，那么就能在经济上获得成功。这是泰勒制（Taylor-System）的基本思想[1]，它的目标是在工厂中最合理地利用人力和机器。为了这个目的，泰勒采取不规定操作工定额而让他自己决定如何最有效地工作。生产工程师必须代表厂方确定有效完成工作所需的时间。如果操作工达到预定的最低速度，就给以金钱鼓励。吉尔布雷思（Frank B. Gilbreth）用他的动作分析[10]充实了这种时间分析概念，他通过描绘或视觉手段（电影制片术），具体分析了对执行一定任务产生影响的每一活动要素。在

这种分析的基础上，就有可能确定头、身躯、手臂、手、腿和脚的动作次序以及最佳的工场布局和工具安排，这会使该项工作以最少的人工在最短的可能时间内完成。

福特是第一批把泰勒的思想十分成功地转化为实践的工业家之一。在20世纪初，他不但把个人操作时间缩短到最低限度，而且还根据生产工件所需的操作次序来安排机床和专用机器（流水线），用传送带把工件从一台机器运送到下一台机器，从而缩短了整个生产时间。他把同样的原理应用于装配作业，用传送带把组件送到各装配点，那里的工人们不得不围着组件团团转，分秒必争地工作。

1057

20世纪前半叶，虽然系统的设计和组织生产的方法已不同程度上得到普及，但是福特和其他制造商主要是把这种方法用于大量生产至少是大规模生产中才获得巨大的利益。这是因为安装必需的专门化设备的原始成本以及设计和生产控制的成本通常是很高的，只有规模很大的生产活动才在经济上具有生命力。然而，第二次世界大战后，对专门产品和易耗消费品需求的增加，急需一种既适合少量生产或小批量生产而又能赢得大规模生产利益的制造方法。

第二次世界大战前已描述过的工件“组合”(group)制造方法[11, 12]似乎是这个问题的一个答案。然而，只是到了1956年[13]才建立起“组合工艺学”(group technology)的科学方法。20世纪60年代发表的关于工件统计资料的若干调查报告表明，组合工艺这个概念的本来含义是：可以通过把尺寸、形状和制造方法相似的工件归入一组的办法，增大批量的有效规模，从而产生具有经济效益的投产。

不久人们发现，仅仅把工件分组的思想好处有限，组合思想不仅应包括工件，而且还应包括机器和操作者。这就导致了“单元”制造概念的应用。在这个概念中，细胞是指包括有关的行政管理、计划和操作在内的自持单位。

技术和组织方面的进步，大大提高了生产的经济效益。然而，第

二次世界大战以后，这一效益被人在现场的效能损失所抵消的问题变得明显起来。操作者的活动或多或少地变成一系列机械性的动作。由于男人和女人不能充分发挥他们的智力而纷纷离开去寻找更有趣的工作，许多工厂的劳动力更换率不断上升。这就不可避免地要一个接着一个训练新的工人，因而更降低了劳动效率和生产率。

罗伯茨(A. Roberts)在1950年出版的著作《车间中的人际关系》(*Human relations in the workshop*)[14]一书中写道：

企业不能期望一个人一跨进工厂大门就立刻成为共同生活的一员。他们是带着自己的眼光、情感、希望和恐惧进入工厂的。最重要的是，要使他们感觉到他们属于任务，而这个任务及其在这个任务中的位置是受别人尊敬的，他们自己所作的贡献会取得效果。

1058

在流水生产线上——如在汽车工厂所遇到的那样——车间中的工人随着工件不断地送到他的工位而必须整日不停地进行相同的操作。而在单元生产中，每个工人不仅要献出体力，更重要的是要献出智力。换句话说，单元生产不仅意味着技术上和经济上的效益，而且意味着工人对团体负责并在团体内扮演重要角色，以代替那种令人厌倦的没有兴趣的活动。这又导致了较大的“职业满足”。对许多人来说(尽管不是所有人)，这比单纯的金钱奖励还要重要一些。

在第一次世界大战期间就开始研究工业心理学的默德(W. Moede)认识到这样一个事实：不能以估价机器效率的同样方式来估价操作工的效率[15]。正如吉尔布雷思及其继承者研究人的体力状况、工作场所和工作状况一样，工业心理学家则着眼于智力和情绪状态、适应性(特别是伴随着环境和年龄所产生的变化)和生理问题。今天，其中许多问题的研究归在“工效学”(ergonomics)这个总标题下。管理人员根据这些研究成果来选择最适合特定工作的工人(反之亦然)，

并努力创造能够提高生产率的那种环境条件。

致谢：作者感谢西北科学和工业博物馆的卡特拉尔（G. Catterall）先生所给予的有益帮助。

相关文献

[1] Taylor, F. W. *The principles of scientific management.* Harper, New York. 1916.

[2] Taylor, F. W. On the art of cutting metals. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, **28**, 31, 1907.

[3] Ruiz, C., and Koenigsberger, F. *Design for strength and production.* Macmillan, London. 1970.

[4] Schlesinger, G. Lecture to the V.D.I. Cologne, 8 April 1914.

[5] Merchant, M. E. *Trends in machining technology and machine tools.* International Congress for Metalworking. Hanover, September, 1970.

[6] Schlesinger, G. *Prüfbuch für Werkzeugmaschinen.* (Testing machine tools.) Springer, Berlin. 1927.

[7] Salmon, P. *Machine-outils. Réception, vérification.* (Machine tools. Acceptance, testing.) Editions Henri François, Paris. 1937.

[8] Whitworth, J. A Uniform System of Screw Threads. Paper read at the Institution of Civil Engineers. 1841.

[9] Whitworth, J. Address to the Institution of Mechanical Engineers, delivered at Glasgow. 1856.

[10] Gilbreth, F. B. *Motion study.* Constable, London. 1911.

[11] Flanders, R. E. Design, manufacture and production control of a standard machine. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, **46**, 691, 1924.

[12] Kerr, J. C. *Planning in a general engineering shop. Journal of the Institution of Production Engineers, 18*, No. 1. 1939.

[13] Mitrofanov, S. P. *The scientific principles of group technology.* Leningrad. 1956.

[14] Baker, H. Wright (ed.) *Modern workshop technology.* Part Ⅱ. Cleaver-Hume Press, London. 1950.

[15] Moede, W. *Lehrbuch der Psychotechnik.* (Textbook on industrial psychology.) Springer, Berlin. 1930.

参考书目

Gilbert, K. R. *The machine tool collection (Science Museum)*. H.M.S.O., London. 1966.

Rolt, L. T. C. *Tools for the job*, Batsford, London. 1965.

Steeds, W. *A history of machine tools.* Oxford University Press, London. 1969.

Wittmann, K. *Die Entwicklung der Drehbank bis zum Jahre 1939.* (The development of the centre lathe up to 1939.) VDI-Verlag, Düsseldorf. 1960.

Woodbury, R. S. *Studies in the history of machine tools* (History of the Gear Cutting Machine; History of the Grinding Machine; History of the Milling Machine; History of the Lathe to 1850.) MIT Press, Cambridge, Mass. 1972.

第44章 流体动力

海雷的威尔逊勋爵
（LORD WILSON OF HIGH WRAY）

1060

在水轮机方面（第9章），离心泵的一般原理早在1900年就已经确立，而其大小、功率和使用范围却增加了几百倍。离心泵属于世界上最广泛使用的机器。水冷式汽车发动机、洗衣机和中央供热系统所使用的小型泵，其转子叶轮的直径也许仅有50毫米；而大型灌溉泵站和电站冷却水泵则具有直径可达3米的进水管和出水管。在许多国家的干旱地区，完全依靠离心泵从河流、泉眼和深井中汲水灌溉。在所有的海轮、炼油厂和化工厂中，泵的维修工作是工程技术人员的主要任务之一。

高压锅炉的给水泵要消耗很大的动力，需要单独用一台汽轮机来驱动。在英国的威尔士，布莱奈·费斯蒂尼奥格（Blaenau Ffestiniog）抽水蓄能电站的设计方案中指定要使用7.5万千瓦的电动机来驱动水泵（边码213）。

44.1 容积泵、自吸泵和射流泵

活塞泵 自罗马时期以来，这些泵大体上没什么变化。在工业革命时期，它们被广泛用于锅炉给水、矿井排水、家用和公用自来水供应、化工厂、船舶和消防中。这种泵具有坚固、耐用的特点，直到现在还用于小型锅炉的给水和某些特殊的作业。这种泵的缺点之一便是

它的活塞速度必须加以限制。如果不是设计得很好，运转过快或承受很高压力时阀门会很快出现磨损。

高压容积泵 这里简要地介绍一下液压系统。这种液压系统依靠高压泵，可以只在短时间内就将巨大的动力传递一定距离。利兹的约翰·托勒（John Towler）和福兰克·托勒（Frank Towler）在以原动机转速运转的高压泵的设计和生产方面，做了许多工作。这种泵能输出100 千克 / 平方厘米以上的压力，在 20 世纪 30 年代成为液压机的常用设备。

海尔 - 肖（H. S. Hele-Shaw）和比彻姆（T. E. Beacham）在第一次世界大战前不久，开始研究一种新原理的泵，即旋转斜盘泵。这种泵由泵轴驱动一个旋转斜盘。当泵运转时，这个盘可倾斜到与轴线成 60° 到约 90° 之间的任何角度。6—8 个泵缸共轴，每缸有一个独立的活塞和刚性的活塞杆，杆端固定在斜盘上。当旋转斜盘与泵轴正交（垂直）时，活塞保持静止；但当它倾斜时，一侧的活塞向内运动，排出已抽入的流体，这种流体必须具有良好的润滑性；当另一侧活塞向内运动时，该泵缸内重新充满流体。这种泵可以用作工业定速泵，具有无限变化的排量，空转时所需的动力很小，但可在几秒钟之内进入全排量运行状态。

其他更便宜的可变排量泵不久也设计出来了，并很快投入市场，它向下文所述的液压系统提供动力。

自吸泵 离心泵存在着下列缺点：

（ⅰ）在启动之前，必须先灌满水[1]；

（ⅱ）如有大量的空气（或其他蒸汽）进入，会产生气阻而造成停泵；

（ⅲ）如速度减缓，则输出立刻下降；如速度太慢，会停泵。

1 为了叙述方便，这里指的“水”和“空气”相当于和它们的蒸汽 1 一起被抽吸的任意流体。当抽吸热水和其他挥发性液体时，（ⅰ）和（ⅱ）的问题会更突出。

几乎所有的自吸泵都设计成侧槽式或水环式。它们按下列原理工作：当水被抛向泵缸外侧或侧槽时，由于水比空气重，在泵轴附近会形成一个空气圈。叶轮是一个装有一定数量叶片的圆盘，用来“拖拉”水转动；旋转大约 1/4 周后，侧槽逐渐消失，于是水被迫沿叶片间的空隙流向泵中心线。进水口和出水口都靠近中心（这种泵与离心泵相反，有时被称为向心泵）；由于叶轮转动，空气被迫脱离泵送物而被吸入进口，等到吸水管被水充满时，泵即开始送水。

1062

这种泵具有容积泵的许多特性，因为水在叶轮片上面上下流动，几乎起着多重活塞的作用。叶轮和泵壳并不接触，而且间隙一定要小。这种式样的泵用作船舶发动机冷却水泵是最有价值的，因为它们能够对付小型船舶颠簸时常吸入的大量空气，也能在发动机转速变化很大的情况下良好地运行。

当进水口和排水口的大小超过 100 毫米时，这种泵的效率较低而体积较大，与离心泵相比有明显的缺点。

偏心螺旋转子泵 这种设计产生于 20 世纪 30 年代初。转子通常采用适当的合成材料，在螺距很长的螺旋状模子中浇注而成。它由泵轴通过万向节驱动，而在一个刻有类似“螺纹线”的定子内旋转。在转子和定子间为线接触。当泵转动时，泵流体沿螺旋线被挤压而产生抽吸作用。

这类泵主要用于泵压液体食料，如果酱、牛乳和食用油类产品，其“挤压”作用不会像离心泵那样使通过的流体发生离析现象。

射流泵 射流泵的工作原理犹如用来给蒸汽机车供水的蒸汽喷射器，不过它是在高压下运行的。高压水通过一个细小的喷射孔喷射到一个带有长长的、缓缓扩大的锥形体腔室中。高压水的能量转换为速度，这能在最小压力点把水汲进喷射器，一部分汲入的压力在扩展的锥形体内得到补偿。这种喷射器可用来从水舱内汲水，在（或接近于）大气压下排出；或者，如果把它置于钻井底部，则能把水带上并

传送到地面。

喷射器可以处理一部分固体和污物，故对清理水舱有很大好处。许多是用于捕鱼船泵汲舱底水，因为只有清洁的海水能通过喷射器喷嘴，而液状污泥可从舱底水舱中汲出。对深井泵来说，通常用于30米以下抽水，以满足家庭小规模用水。该装置的效率是很低的，但设备价格低廉，而且泵的所有活动部件和电动机都在地平面上。如果每天只需数百升水，抽水用的电费会很便宜。

44.2 液压系统

1900年以来，流体动力在液压系统中的应用发生了很大变化，因此对于已有的发展只能做非常简要的概述。19世纪末期，从中心泵站传送流体动力去操纵升降机、起重机、卷扬机、闸门、平旋桥等的工作方式已经完全确立。而且在1950年，大城市（尤其是港口城市）的流体动力公司仍然是有赢利的。然而，大约从1920年以后，发展趋向于专用独立系统，以主要为了适应在船舶、飞机、汽车和拖拉机这些对各自的液压泵和液压缸的应用需求等。

康斯坦丁内斯科断续齿轮 康斯坦丁内斯科（George Constantinesco）从罗马尼亚来到英国，从事液压传动的数理研究。在第一次世界大战期间，空战迅速发展，最初机枪仅由空中观察员在飞机座舱中操纵旋转枪架进行射击。他可以向左侧、右侧和后方射击，但不能向前方射击，因为这样会打坏螺旋桨（双引擎战斗机那时还没制造出来）。康斯坦丁内斯科设计了一个液压"断续齿轮"，利用它可以把机枪装在发动机上方对准正前方。当驾驶员瞄准敌机扣动扳机时，机枪子弹恰好可以从螺旋桨叶片间射出。

炮塔瞄准和舰只操舵装置 随着军舰炮塔尺寸和重量的迅速增加，用重达几百吨的炮塔准确瞄准，而且几分钟内以一度的误差固定在炮座上，这个难题使造船工程师们大伤脑筋。唯一的解决办法是液压操

纵，即用一个旋转斜盘泵在炮塔转动到正确角度时，自动地锁定该系统。炮塔升高也使用液压装置。但如果只移动炮管，由于有平衡配重，所用的力是很小的。

大船操纵中存在着类似的问题。蒸汽舵机的运用已经很久了，但是蒸汽的辅助性能一直令人沮丧。尤其对于海军舰艇来说，延伸得很长的压力蒸汽管和冷凝管一旦在工作过程中破裂，就会带来灾难性的后果。

1064

一艘航空母舰重达 2 万多吨，当它以 32 节航速转 30 度角时，需要很大的力来转舵。在 20 世纪 30 年代，英国海军的主力舰所采用的建造方案是运用四台大型液千斤，船头和船尾各一对，它们被连接在舵杆的十字头上。旋转斜盘泵为其提供动力，并由舰桥、锥形塔或紧急操纵点——距离甚至超过 100 米，穿过许多舱隔板和甲板——通过液压伺服机构来进行操纵。只要舵和操纵装置没受到大的损害，而且泵的供电仍能维持，在轮船别处遭受到严重的破坏之后，仍然可以操纵。

飞机上的应用 因为飞机速度的增加，流线型对于减少空气阻力是必需的；而且因为自支持机翼的单翼飞机代替了带支撑件和拉索的双翼飞机，起落架就成了最大的问题。在 1933 年，诺韦（N. S. Norway）致力于液压伸缩起落架的研究，这种起落架可以折叠到机身内。这种设备要求很高的精度和光洁度，开始是手工制造的，但不久道蒂（George Dowty）就开始制造标准的液压构件，并且创建了以他的名字命名的非常重要的企业。

军用飞机像军舰一样，体积和复杂程度的增加需要更大的动力来操纵副翼、着陆襟翼、炸弹舱门等，从而采用全液压遥控装置。即使在需要的操纵力比较小时，用液压管传递动力也要比错综复杂的线路便利得多。后者需要不断的检查，而且有拉长和磨损的危险。

汽车 或许是受飞机应用液压控制的影响，汽车工业从利用钢索

转到利用液压伺服马达来进行制动操纵。这样，驾驶员用脚和腿推动主油缸的活塞，液体压力就传送到连接闸瓦的油缸和活塞上。一般都采用四轮制动，液压操纵系统具有这样的优点：它能够自动地把恰当的压力施加于前部和后部的制动器上，而不再依赖钢索精确的张力。

农业和土木工程 一般人几乎不清楚液压系统的广泛影响，只是模糊地意识到这样的事实：他的汽车设有液压制动器，或者飞机靠某种液压收缩装置将轮子藏入机身。液压系统成为对日常生活具有重要影响的成果，这主要应归功于英国实业家弗格森（Harry Ferguson）的工作。

早在1923年，弗格森就有了关于农用拖拉机悬挂式农机具的三点联动装置的基本概念，并且认为必须用油压伺服装置来进行控制，并且使用一台由发动机驱动的高压油泵，从而能够随意地连接。所需的工具，如犁和耙，能够很快地用螺栓固紧，然后靠液压控制处于恰当的位置。

弗格森式以及其他类似的拖拉机，使耕作发生了革命，大大提高了生产率，节约了劳动力。在大多数国家的农业地区，旅行者将会看到农场正在工作或准备下地工作的拖拉机。农场主必须像了解他的牛和羊的病情一样，了解自己拖拉机的机械故障。

液压系统在农业应用中一个值得注意的特点是它在恶劣条件下的可靠性。在整洁的车间里，机床上的精密液压装置理所当然地会得到细心的照料；但拖拉机的大部分使用期是在户外各种气候条件下度过的，它的机件会盖满泥土和灰尘。液压管在这种恶劣的条件下接上又拆开，仍然能够正常工作，这确实应该感谢弗格森和他的后继者。

1945年以来，土木工程设备的液压操纵逐渐取代了电力驱动（通过一组电机）或机械驱动（靠齿轮箱和离合器）。这种趋势出现在建坝和筑路的挖沟机、推土机这些大型移土设备及带有风钻的龙门起重机上，大大加快了隧道和地下电站的挖掘速度（第36章）。

1066

液力耦合器或“液压飞轮” 虽然液力耦合器和上文所描述的液压系统有所不同，但还是应该包括在这一章中。它和水环自吸泵有一些关系，依靠与那些泵的叶轮极其类似的两个旋转部件之间的“牵引”工作。

液力耦合器的效用在于，在机器中以最高效率、最小震动把动力从主动部件传送到从动部件。如果考虑到下列各种方案，那么液力耦合器在将动力从一根转轴传送到另一根轴这种常规应用领域中的地位就可以看得更清楚了：

(1) 刚性的法兰盘或齿轮型。这是永久性结合，只有拆卸才能断开。

(2) 同(1)，但带有楔块。销子和楔块可以被移动，从而使两个部件中的任一部件自由转动。

(3) 销子型，“挠性”。如(1)，但当销子移动时，两个面之间的间隔可以像(2)那样自由变动。

(4) 牙嵌式离合器。每一法兰盘有4个突出的“牙”，间隔相同。一半用键固定在轴上，另一半可自由地在键上滑动，而且能被移动到将它的牙啮合于对面的空挡中。只有在两个部件都静止的时候，才能啮合。

(5) 多片式摩擦离合器。如(4)，但牙被覆盖有高摩擦材料的弹簧顶板所代替，就像一般的汽车离合器那样。它可以在一个部件静止而另一个部件转动时啮合。传送的动力有限。

(6) 液力耦合器。叙述如下：

人们常常把液力耦合器说成是一个泵驱动一个涡轮机，尽管这在液体动力学基本术语中是正确的，但会产生混淆。耦合器的主动部分和从动部分是相似的。每个部分都有一个盖盘，上有若干辐射状的叶片；叶片向一个角度倾斜；两部分的叶片面对面。它们有点像把低压汽轮机的叶片分成两半：一半固定，另一半运动，在输入和输出中间

隔有导流盘。整个装置安放在油封腔内，两个部件间的空隙很小。

最简单的形式就是设计成每个部件之间只以同样速度传递动力，在腔内无油时不传递动力。腔内注满油，耦合器就接合。由“泵”驱动的油力传到“涡轮”后，使后者开始转动并逐渐接近泵的转速。同鼠笼式电机一样，它不可避免地有一定的转速差；也如电动机那样，在低荷载时转差很小，在满荷载时则达到最大值。这说明有动力和效率的损失，必须配以冷却装置。

1067

如果液力耦合器是用于汽车、柴油机车等的驱动，那么泵和涡轮机之间的空间要大一些；腔内也要充满油；有可移动套管护住它们。当移开套管时，油从泵里涌出，只有很小的力去驱动涡轮。当套管移动到盖住间隙时，油被限制住，压力升高并驱动涡轮。

液力耦合器能传送很大的动力，启动平稳，且不会“烧毁”。1935年，伊特德克（Iterdecke）水电站就制造出了能够传送3.6万马力的液力耦合器，在涡轮机和蓄水泵之间传递动力。然而，对于低动力的汽车等来说，它比多片式摩擦离合器的费用高而效率低。

第45章 电力的生产、分配和利用

布里安·鲍尔斯（BRIAN BOWERS）

45.1 发电站、汽轮机和发电机

20世纪初英国电站工业引以为豪的，乃是1901年6月18日在泰恩河畔纽卡斯尔，由开尔文勋爵（Lord Kelvin）建成的海王滩（Neptune Bank）大型电站。海王滩电站装机容量为2100千瓦，发出三相交流电。负责该电站的顾问工程师便是后来与麦克莱伦（McLellan）合作，并在发展英国和国外若干地区的电力供应有过重大贡献的默茨（Charles Merz）。

由于已决定将海王滩电站建成一座交流电站，所以默茨就必须选择合适的运行频率。最后，他选定了40赫这一频率。当时纽卡斯尔已有一座规模较小的电站，所用频率为100赫，但因这一频率过高，使得感应电动机难以令人满意地工作。在苏格兰的克莱德地区和伯明翰，人们也曾采用过25赫的频率，但使用结果却是，该频率往往引起白炽灯光发生明显的闪烁不定现象。选择40赫频率虽然无可非议，但并未得到人们的赞同。美国的电力部门最终采用的是60赫，而德国采用的则是50赫。英国的大多数电力部门按照德国人的做法，采用50赫频率，所以50赫最终便成了英国的标准频率，甚至成了欧洲大部分地区的标准频率。在从德特福德到伦敦的线路上，尽管费兰梯（Sebastian de Ferranti）曾成功地使用过1万伏电压输电（第V卷，边

码 199），但默茨经研究认为，输电电压取 5500 伏最为合适。

最初安装在海王滩电站的原动机，是直接与发电机联轴的四缸低速船用往复式发动机。选用这种发动机的部分原因是电力公司急于想扩大工业负荷。他们知道，如果所采用的原动机是纽卡斯尔的一些实业家（主要是造船商）已在使用的那种类型的机器，那么人们就会减少疑虑，更加相信新电站供电的可靠性。然而，在 1901 年年底前，默茨就计划扩大该电站，并计划换用不同类型的原动机。

1069

在早期供电工业中，使其发生最大变化的发明不在电方面而在机械方面。汽轮机的发明主要应归功于帕森斯（Charles A. Parsons）个人的创造才能。他在都柏林和剑桥求学时，学的是数学，但感兴趣的却是工程技术。大学刚毕业，他就当上了工程见习生，后来又成了克拉克（Clarke）、查普曼（Chapman）和盖茨黑德公司的合作者。在那里，他把自己的注意力转向了汽轮机，并于 1884 年成功地制造出了第一台汽轮发电机。该机器以 1.8 万转 / 分的速度运转，发出电压为 100 伏、电流为 75 安的直流电。这台机器现在存放在伦敦科学博物馆中。

由喷嘴喷出的蒸汽产生动力已不是什么新的原理。帕森斯的成就在于，他用自己的数学才能解决了轴在高速旋转时的种种力学问题，以及沿汽轮机轴向汽压降的分布。

1889 年他们终止了合作关系，而帕森斯发现他再也不能使用轴流式汽轮机了，因为他的发明专利已归他以前的合作者所有。于是，帕森斯迅速研制出了径流式汽轮机取而代之，另外又建立了一家新公司，取名为帕森斯泰恩河畔纽卡斯尔公司，并研制出与这种汽轮机配套的发电机。很快，他就签订了向三家电站提供汽轮发电机的合同。第一家电站在剑桥，他向该电站提供了 3 套机组，每套功率为 100 千瓦，转速为 4800 转 / 分，发出 2000 伏电压、80 赫频率的单相交流电。这些机组安装在橡皮垫块上，而不是用螺栓固定在机座上。其低噪无振运行的优点，引起了改建地区居民的注意，因为他们讨厌往复式发

动机的噪声和振动，从而该机组吸引了更多的订货合同。第二家电站在斯卡伯勒，安装在这里的设备和剑桥的相似，但略大一点，其额定功率为 120 千瓦。第三家电站位于朴次茅斯，1894 年这里安装了数套 150 千瓦、50 赫的机组。

1900 年，帕森斯向德国的埃尔伯费尔德供应了两套单相 1500 千瓦的汽轮发电机组。同那时世界各地安装的发电机相比，这两套设备要大得多，大型汽轮发电机组所显露的经济性令人印象深刻：在剑桥的汽轮发电机组，每发 1 千瓦小时的电需要 12.7 千克的蒸汽，但供给埃尔伯费尔德的机组只需 8.3 千克蒸汽。世界各地对汽轮机的需求，按纽卡斯尔的帕森斯公司的能力是无法满足的。瑞士博维里工程公司几经努力，获得了在欧洲制造汽轮机的权利，美国威斯汀豪斯公司也获得了在美国的制造权。20 世纪蒸汽涡轮机的进一步发展情况，在本书其他章节讨论(第 41 章)。

发电站对原动机的选用，对发电机本身的设计者会有一些约束。1070 除水电站以外，一切电站均可用蒸汽作动力。对电气工程师而言，锅炉用什么燃料无关紧要，他们很少关注；但选用哪种原动机却十分重要，因为原动机的转速决定着发电机的转速。诚然，在早期的一些电站中，发电机是靠皮带传动的，而且传动速度可随意选择，但是这种传动仅适合于低功率设备。19 世纪 80 年代，威兰斯(P. W. Willans)对中心阀式往复式蒸汽机的改进是一大进步，因为和传统蒸汽机相比，这种蒸汽机的转速较高，而且发电机能与之直接联轴。在汽轮机出现之前，威兰斯发动机(第 V 卷，边码 135)几乎通用于各电站。

就交流发电机而言，其转速、磁场的磁极对数，以及所发出的电流频率之间的关系，可由下列公式表示：

$$转速=磁极对数 \times 频率$$

威兰斯发动机，其转速可以达到500转/分。因此，为了发出50赫频率的交流电，发电机就需要6对磁极。汽轮机的转速则要高得多。很明显，发电机的磁极数最小，为2。当电源频率为50赫时，这种发电机的转速相应为3000转/分。因此，英国和欧洲都将之设计为3000转/分的转速，尽管有些早期的汽轮发电机组曾以1500转/分的速度运行。在美国，常用的电源频率为60赫，发电机是按3600转/分的转速来设计的。

早期的发电机都具有用来产生电流的、旋转的电枢绕组和固定的励磁磁极。采用电刷和滑环将电流从旋转电枢上引出；不过，当制造较大型的发电机时，这样的集流装置则是一种限制性因素。解决的办法是使发电机“反装”，即将励磁磁极装在转子上，而将电枢绕组装在定子上。这么一来，电刷装置只需向磁场绕组输送励磁电流。1901年底，海王滩电站扩建时所订购的一台1500千瓦的三相发电机，是一种大型旋转电枢式的汽轮发电机，为当时的最新产品。其至少有两点与众不同之处。第一，它是为公共供电安装的第一套三相汽轮机组，虽然1900年在约克郡安装的一台150千瓦的汽轮发电机组，曾用来向霍尔煤矿供电。第二，1904年丘纳德公司派了一个委员会来到海王滩电站，对火电厂进行考察，因为它是英国唯一采用往复式发动机和汽轮机并行工作的发电站。考察结果是，丘纳德公司通过决议，让两艘新班轮安装使用汽轮机，一艘是“路西塔尼亚号”(Lusitania)，另一艘是“毛里塔尼亚号”(Mauretania)。

第一批旋转磁场发电机在转子轴上安装了“凸”磁极。博维里公司的布朗(Charles Brown)建议，励场线圈应被嵌放在转子表面铣出的槽里，而且转子还应是一个单一的铸件。由于转速是固定不变的，所以应根据离心力来确定转子直径的上限。布朗的这种设计使结构更牢固，因此一直为后人所采用。

1903年以来，电站的发展史始终表现在细节上的改进和规模上

的扩大，在原理上并未发生根本性的改变。1904年在纽卡斯尔投入运行的卡维尔电站，有两台汽轮发电机。每台发电被设计为功率3500千瓦，尽管试用结果表明，它们的功率可达6000千瓦。卡维尔电站在英国是第一个采用美国已经建立的“系统控制室”做法的电站，墙上的一张接线图显示出系统中各发电站、变电站和所有开关的状态，整个系统由一位操控工程师全面主管。卡维尔电站每度（千瓦时）电耗煤量为2千克。米德尔斯伯勒的北蒂斯发电站是在第一次世界大战期间规划、战后不久投入使用的，拥有2万千瓦的机组，每度电的耗煤量不到1千克。北蒂斯发电站的蒸汽工作温度可达370摄氏度。1930年建成投产的邓斯顿“B”号电站，其蒸汽工作温度为427摄氏度，每度电只需耗煤0.6千克。邓斯顿的5万千瓦机组是英国规模最大、效率最高的，同时因可直接发出33千伏的交流电，故省去了每台发电机都需配一台变压器的需要。1933年在伦敦巴特西发电站安装使用的10.5万千瓦机组，若干年内在欧洲都位居榜首（图45.1）。

发电站发展的简要回顾可借布莱思（Blyth）电站暂时告一段落。布莱思电站离海王滩电站仅20千米，可是比后者要晚57年之久，到1958年才投入运行。该电站的4台12万千瓦的汽轮发电机，在英国居同等规模的发电机之首。布莱思电站的蒸汽工作温度为538摄氏度，而且当时该电站效率不断提高，每消耗1磅（0.454千克）煤，竟可发电1千瓦小时。

就英国的电力供应而言，尽管从水电工业开创以来陆续建了很多小水电站，但水力发电（第9章）从来不受重视。这些小水电站虽然在英格兰有一些，但主要还是在苏格兰北部和威尔士的一些山区。1918年，英国商业部委任了一个水力资源委员会，对英国全部可利用的水力资源进行了仔细调查。委员们在1921年最后呈送的报告中得出的结论为，英国本土值得投资开发的有用水力资源只有210兆瓦；而大英帝国的其他地方，特别是加拿大和印度都有丰饶的水力资

1072

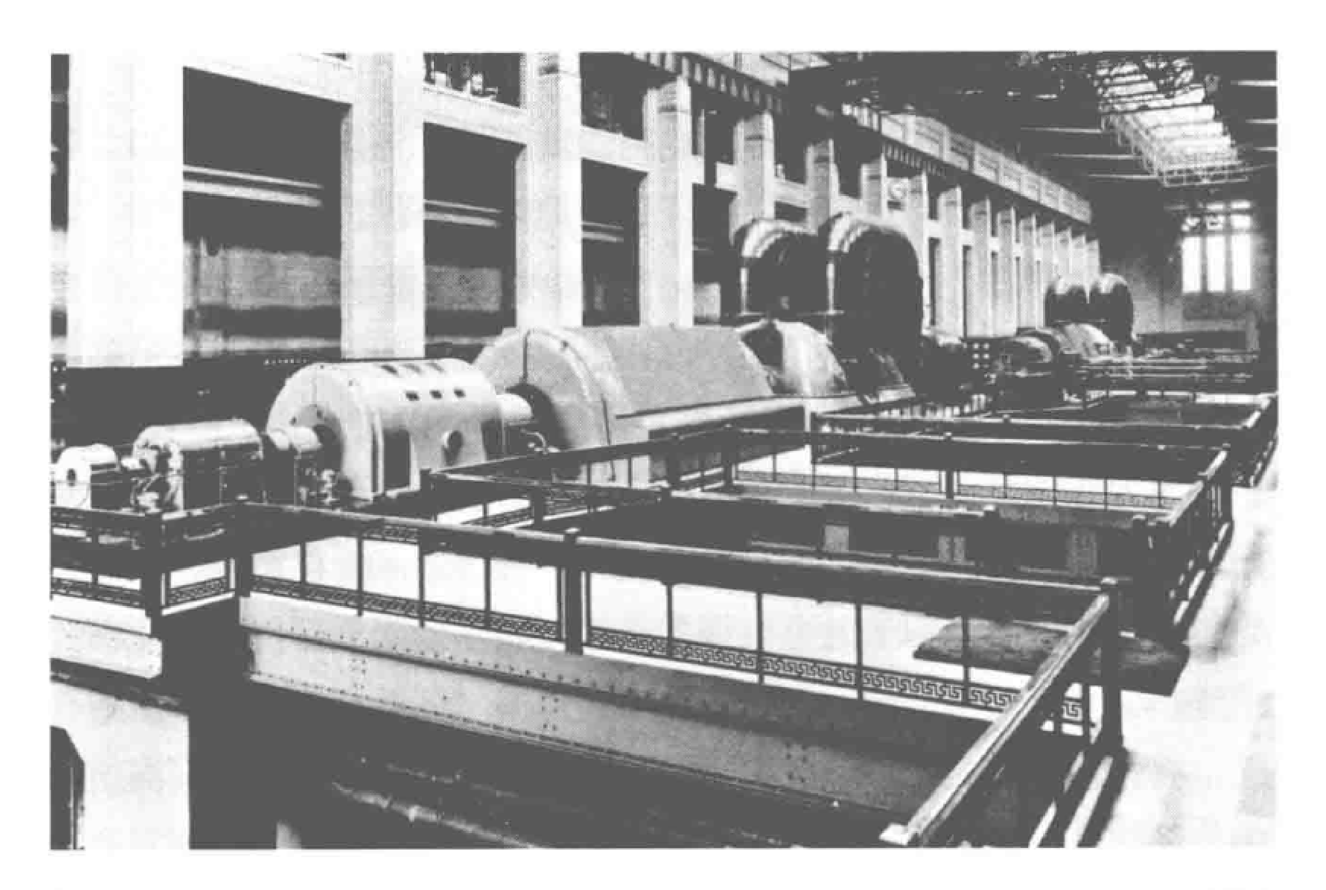


图 45.1　1933 年巴特西 A 号发电站汽轮机房一角。曾一度被称为动力大殿堂的巴特西 A 号发电站装有两台 69 兆瓦的发电机及一台 105 兆瓦的发电机——多年来欧洲最大的发电机。该电站于 1975 年关闭。

源。与美国和欧洲其他地方相比，英国在这方面可谓望尘莫及。为了开发苏格兰高地的水力资源，1943 年成立了苏格兰北方水电委员会。1951 年英国的水力发电量为 200 兆瓦，其中大多数得力于该委员会；到 1972 年，该委员会掌管的重点水电站已有 54 个，其总装机容量达 1052 兆瓦。该委员会还主管着一些“抽水蓄能”系统。第一个抽水蓄能系统于 1957 年在斯罗恩莫尔试运行。在抽水蓄能系统中，往往在非高峰期，当发电的边际成本很低时，人们就用电将水从地势较低的水库抽到地势较高的水库。在高峰期，当需要有更大的发电量时，就让水倒流，并使抽水蓄能系统起到水力发电站的作用。斯罗恩莫尔抽水蓄能电站所具有的装机容量仅为 5 兆瓦，但北威尔士的布莱奈费斯蒂尼奥格抽水蓄能电站，自 1961 年营运以来，其装机容量从最初的 300 兆瓦增加到 360 兆瓦。

45.2 电缆和输电线路

早期的电缆 从一开始，供电行业就需要用电缆和输电线路将其电力传送给用户。同预料的一样，那些原先一直供应电报电缆的厂家，后来都开始从事电力电缆的制造。他们知道铜是用作导线的最佳金属，也知道将铜多股绞合可增加挠性。硫化橡胶和杜仲胶虽是公认的电报电缆绝缘材料，但用于重负荷电力电缆，结果却不大令人满意。因为在重负荷下，当电力电缆变热时，硫化橡胶和杜仲胶会软化，而且受自重的影响，中心部分往往向下“飘垂”。19世纪末，通过试验挑选出了很多可用于电力电缆的绝缘材料。效果最好的是硫化沥青（简称VB）。

有个名叫卡伦德（W. O. Callender）从事路面材料生产的厂商，认为他从南美洲特立尼达进口的沥青，可作为电缆的基本绝缘材料。他的儿子威廉（William）是个化学家，完成了一系列试验，最后生产出了硫化沥青。硫化沥青这个名称有点误导，因为在这种材料中，沥青的实际成分不到一半。硫化沥青获得专利后，便于1882年在肯特郡的伊里斯（Erith）成立了卡伦德沥青电报及防水公司。硫化沥青电缆在许多国家广受欢迎，卡伦德父子在美国也建起了一家工厂。沥青电缆的使用结果证明，至少用于低电压时其性能是可靠的。

在大多数国家，地下电缆的使用胜过了架空线路，这不仅有美观上的理由，而且还有安全上的原因。英国和欧洲的工程师们通常喜欢将电缆直接埋入地下，而美国则喜欢使用电缆导管。卡伦德父子研究出了一种中间系统，即将硫化沥青电缆铺设在铁槽内，然后将铁槽内填满沥青。当时，这种过渡体系被统称为“卡伦德式的固结体系”，其优点在于能使电缆得到良好的机械保护。后来，对该体系还进行过很多改进，例如为了节约成本，用木槽或陶瓷槽代替铁槽等。

黄麻纤维在用油或树脂浸渍后也可作为电缆的重要绝缘材料，这种电缆与用硫化沥青绝缘的电缆不同，可在电压较高时正常工作，但

其上限约为2500伏。若超过了这个限度，在费兰梯采用纸绝缘以前，唯一可采用的绝缘材料是硫化的印度橡胶。

最早的电缆不是一起敷设的两根单芯电缆，便是穿在同一护套里的两芯电缆。随着交流供电的发展和电话服务量的增加，电话线的感应现象就成了一个问题。美国匹兹堡市的一位工程师韦林（R. S. Waring）用同心导线的办法研制成了“防感应”的电缆。自1887年起，这种电缆在英国开始由福勒-韦林公司生产。

地下电缆导管系统 虽然早先配电多半靠电缆进行，但也有许多例外，如在适当的绝缘子支撑下，采用裸导线。当时，可能要数克朗普顿配电系统最重要了。在该系统中，铜扁条敷设在通常是人行道下电缆导管中的玻璃绝缘子或电瓷绝缘子上。克朗普顿配电系统简单而可靠。通过在导管顶上再敷设铜扁条，配电容量还可增大。而为个别用户服务的电缆就夹接在铜扁条上。该系统的缺点是，由于绝缘子变脏，以及导管容易受洪水淹没，而使绝缘子的电阻降低。尽管如此，直到20世纪60年代，伦敦和布赖顿仍在使用克朗普顿的铜扁条配电干线。另外一些英国工程师也安装了类似的系统，同样在巴黎也得到了广泛使用。

纸绝缘 1886年费兰梯在伦敦格罗夫纳坑道公司当工程师时，接管了一个配电系统，当时该系统的电缆是用橡胶绝缘，工作电压为2400伏（第V卷，第9章）。在为德特福德的一座大型电站构思一个将1万伏电压的交流电输送到伦敦市中心的方案时，他不仅试验过用橡胶，而且也试验过用黄麻纤维来绝缘。但两者都不令人满意。橡胶的介电常数太高，电缆要引起过量的充电电流；黄麻纤维包皮又易于着火。后来，他按自己的办法设计出了一条特殊干线，即“费兰梯管状干线”。这不是电缆，因为它不能弯曲，没有挠性。它由同心的铜管组成，铜管与铜管之间用一种生产蜡烛的副产品，即一层层石蜡浸渍过的纸隔开（图45.2）。这条干线的使用取得了圆满成功。

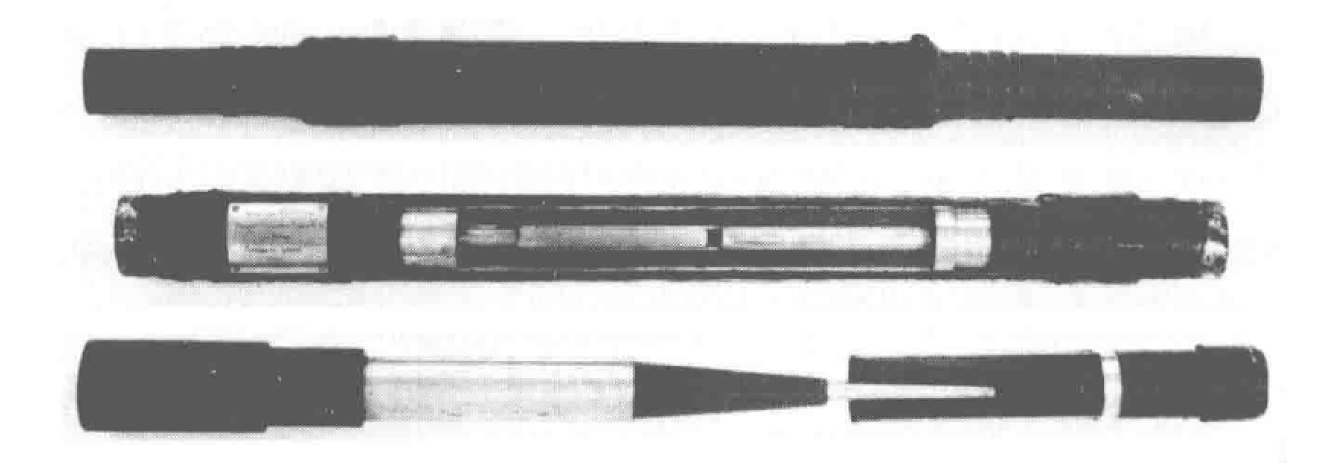


图 45.2 为了将德特福德发电站与伦敦市中心相连，费兰梯根据1万伏电缆需要而制造的接头：图中从上到下分别为完整的接头、剖开的接头和用于培训电缆焊接工的部分剖开的示范接头。示范接头表明，要精确地连接，末端应呈锥形。该电缆是世界上第一种能在10千伏下令人满意地运行的电缆。

纸绝缘法以前也采用过。1884年在美国成立的诺威奇电缆公司，既生产电报电缆，也生产照明电缆，两者均采用一种螺旋形缠绕的纸带绝缘。1889年阿瑟顿（J. B. Atherton）访问美国时，参观了诺威奇电线公司的各种产品，并获得了在英国生产的权利。返回英格兰后，他便成立了英国绝缘电线公司，生产纸绝缘的电缆，同时还邀请费兰梯加入这家新建公司的董事会。

1075

费兰梯设计了一种类似于管状干线的挠曲性电缆。这种电缆的内导体是一根铜绞线，外导体则是多根排列成圆形的铜扁条。1896年，费兰梯向伦敦供电有限公司提供了15英里长的这种电缆。

针对多股平行（而不是同心的）芯线的电缆，费兰梯指出了用绝缘厚度均匀的非圆形电缆芯线的优点。这类电缆，例如他的“苜蓿叶”芯形电缆，对绝缘材料的需要较少，因而相比圆形芯线，能做得较为细小，价格也比较便宜。

多相电缆和更高的电压 使用三相电缆时，人们一开始就认识到，对于芯线与地之间的电压，如果每根芯线都给予充分的绝缘，那么芯线之间的绝缘就过量了。因此在后来采用的一种结构中，人们改变了做法，只让三根芯线的绝缘体刚好能承受芯线之间的电压。当三条绝

缘芯线放在一起后，再用一条绝缘“带”将它们裹成一体，上下缠严，并使芯线对地面的绝缘达到合乎标准的厚度。这种“包带”绝缘法，是以往用于制造 33 千伏及以下电压电缆的标准做法。

第一次世界大战之后，许多电力公司都需要能承受更高电压的电缆，于是制造商们生产出了多种额定电压为 66 千伏的包带电缆，并且与效果良好的 33 千伏电缆都具有同样的电介质应力。但人们很快就发现，新产品出了毛病，经常发生击穿事故，但事故原因一开始并不清楚。对三芯电缆电场分布图的分析表明，其绝缘带受到一个平行于纸层的电应力的作用，而由于沿纸厚度方向的电应力比沿其表面的大，所以开始这就被人们理所当然地当成了原因。然而，进一步研究表明，这只是一个次要因素。主要原因是，在重负荷的大功率电缆中，芯线经常受热膨胀。在芯线冷却收缩后，绝缘材料上就留下了一个个空隙。在施加电压的情况下，空隙处就发生放电现象，乃至将绝缘材料烧伤。当绝缘材料中的最大电应力达到 4 千伏 / 毫米时，就会引起故障。

1076

每根芯线外面包上接地的金属屏蔽或镀金属的箔，是后来解决 66 千伏电缆问题的方法，结果是全部电应力由一同质的绝缘材料所承受。尽管包带结构的绝缘具有经济实用的优点，但还得弃之不用。1928 年以后“屏蔽”或“H- 型”[以发明者霍赫施泰特（Martin Hochstadter）命名] 结构的绝缘，已在所有 33 千伏及以上的电缆上得到应用。

充油电缆和充气电缆 对于更高电压、更大功率来说，必须防止因芯线热胀冷缩而在绝缘层中产生空隙。1930 年，卡伦德公司生产过一种使用椭圆形芯线的电缆。当时的构想是，尽管电缆受热时其芯线变得更接近圆形，但电缆的外层护套是不会扩张的；冷却之后，电缆外层护套理应恢复到它原来的形状，而不会形成空隙。不过，真正的解决办法是使电缆充油（图 45.3）。这种别具一格的新招，是意大

利的皮雷利公司的总工程师埃马努埃利（Luigi Emanueli）在1920年最先研制出来的。他让一种稀稠的矿物油在芯线中构成的螺旋形钢导管中流动。油透进整个电缆后，一有空隙产生，可立即被油填充。高于电缆水平位置的油箱，可保持电缆中的油压，并应付油的热胀冷缩。

1077

充油电缆的绝缘强度随油压的增加而提高。在1931年研制“充油钢管电缆”时，贝内特（C. E. Bennett）就利用了这种相关性。那时，用焊接方法将钢管加长的技术已很完善。油压电缆实质上就是普通的纸绝缘屏蔽电缆，只不过这种纸绝缘电缆不加外部护套，直接引进钢管后加压注油制成的。第一条实验性的油压电缆敷设在费城，其工作电压为66千伏。1935年在巴尔的摩正式敷设了一条输送容量100兆伏安的135千伏油压电缆，专供宾夕法尼亚州的铁路使用。

有些充油电缆后被做成具有“自动补偿”的功能。其所使用的护套有一定的挠曲性，是为了适应电缆增压不得不专门设计的。这类电缆虽没有安装外部油箱，但本身却起着油箱的作用。

充气电缆是以前花大力气试验研究的课题。当时曾提出过好几种方案：可用干燥的、不浸油的纸绝缘，然后充气保压；或者用常规方法将纸浸油后，再充气保压。按后一种方案，气体既可同油直接接触，也可借软性隔膜与油隔开。20世纪30年代，英国敷设过若干条充气



图45.3　一根额定电压为380千伏的纸绝缘充油单芯电缆，这种电缆大约于1952年开始在瑞典敷设使用。

电缆，别的国家也铺过几条，但其长度都不长。

电缆的新发展趋势 在20世纪上半叶，电力电缆的基本结构再没发生什么变化。直到1950年有人预见到可用塑料绝缘电缆，可是几年后这种电缆才付诸使用。浸油和浸蜡一直是研究的热门课题，有一种趋势是用矿物油制品取代松香和松香油。虽然曾有一段时间，大约在1906年至1913年，由于铝比铜便宜，也生产出了一些铝芯电缆，但长期以来几乎还是毫无异议地选铜作导体。这种选择并不仅仅取决于金属材料的成本。铝的电导率只是铜的60%，因而铝芯电缆就要做得比等效的铜芯电缆粗些，这需要花费较多的绝缘材料。另外，由于铝表面总有一层很薄、很坚硬的氧化覆盖物，使铝电缆很难具有良好的导电性能。不过，1950年以后，铜的价格大涨，致使电缆制造厂家和供电工业部门对铝电缆的焊接问题着手进行广泛研究，不少供电局在当地的配电网中也使用了一些铝电缆。

1078

架空输电线路 1926年英国中央电力局成立，担负了将全国供电系统连接成网的任务。当时需要架设4600千米13.2万伏电压的线路，这只有用架空输电线路的办法才能实现。该局采用了直径为20毫米的钢芯铝导线，并将其架设在钢质的塔架上；每条线路可输送50兆伏安的容量。那时之所以采用铝线而不用铜钱，是因为在载流容量相同的情况下，铝线的重量可比铜线轻约一半。

1949年，英国电力管理局决定增加电网的容量，并开始规划一个275千伏的输电系统。此系统被称为超高压电网，每条线路的输电容量为500兆伏安，当时指望该系统至少20年内能满足一切需要。该系统的第一部分是一条66千米的单回路线路，于1953年付诸使用。在此以前，即20世纪30年代，美国胡佛坝水电工程的一条300英里（480千米）输电线路采用了287千伏的电压。

45.3 开关装置

断开带电的线路，实际上是一个极其复杂的问题，它远比那些乍看起来可能出现的问题要复杂得多。即使是一个家用电灯开关，当其触头断开时，常常会冒出火花。这是因为触头开始分离时，其接触面不断减小，接触电阻不断增加，并且紧接着会产生最后接触面由不断变热进而熔融的现象。最后有少量金属汽化，形成等离子体，并且使周围的空气也产生电离。尺寸大一点的开关被称为断路器，火花变为“电弧”，差别仅仅在于尺寸大小和术语的不同，而不是物理原理的不同。

断路器分闸时所形成的电弧有助于电路的断开，并不像有些人想象的那样对线路开断起什么妨碍作用。如果触头断开时电流被立即“截断”，那么由于线路自感的缘故，将引起巨大的冲击电压。电弧所起的重要作用在于，能延续电流的流动，直到电流的瞬时值下降到零为止。在 50 赫的系统中，电流过零每秒发生 100 次；在 60 赫的系统中，每秒发生 120 次。当电流过零的瞬时，电弧自身就自然熄灭；为了正常运行，在电介质内发生电弧之后，电介质的冷却程度必须足以避免在随后的半周期内因电压上升而再重燃电弧。直流断路器比交流断路器更难制造，因为直流断路器分闸后，其电弧的熄灭要依赖于电弧必须要拉长至不能维护电压电流条件的长度。

1079

早期电站是由一些安装在石板或大理石面板上结构简单的闸刀开关来控制的。即便是这类最简单的开关也都有主触头和辅助触头（图 45.4）。当开关闭合时，主触头就承载电流（或大部分电流）。辅助触头由弹簧连接到主触头上，它们可跟着主触头一起被快速打开，哪怕启动开关的动作很慢也一样。以此方式，当触头分开时，能使触头之间所产生的电弧尽可能快地熄灭，使触头表面的灼热和烧熔现象仅局限在辅助触头上，而辅助触头可以很容易地进行更换。

随着电压的增高，开关都被装在控制板后面，这样操作人员就不

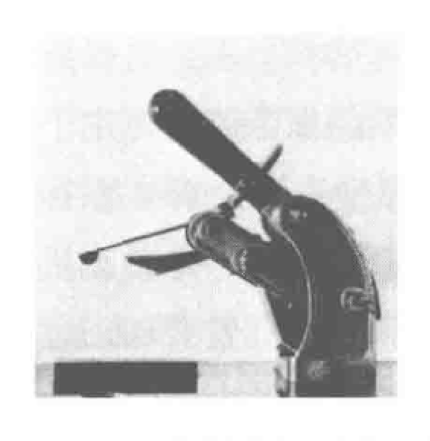
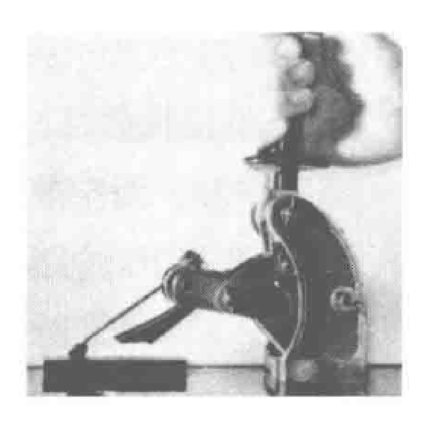
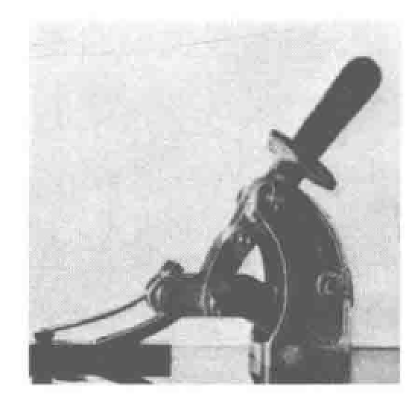




图 45.4 一个早期的干线开关：左图显示分闸状态，中图显示正在分闸或正在合闸时的状态，右图显示合闸状态。当开关完全合闸时，主触头承载电流。当开关分闸时，主触头首先分开，之后在辅助触头分开时便产生电弧。电弧仅可能烧坏便于更换的辅助触头。

可能接触到任何带电部分。后来采用的遥控装置，不仅可确保操作人员安全无恙，而且能使不同位置开关的控制汇集到一个中心控制室里。

当电流增加时，分合闸变得更加困难，开关成了“断路器”。1900 年以前第一批经过精心改进的装置引入了“磁灭弧”。这种装置是根据电流（包括电弧）在通过磁场时，受到横向力的作用这一事实设计的。在采用磁吹熄弧的断路器中，载流导体的布置能使触头分开时所产生的电弧受到横向力的拉长作用。结果必然是，电弧在空气中走过比其他情况下更长的路程，从而能较快地熄灭。

1080

20 世纪初的 10 年间，采用了浸油断路器。这种断路器中的触头分开于油箱中。油的功能首先是冷却电弧，促使它熄灭；其次是增加触头之间的绝缘，以防止在线路断开后出现的恢复电压再度重燃电弧。

第一次世界大战以后，供电业的发展需要有容量不断增大的断路器。因当时没地方有条件做断路器试验，这就给不同设计的评估鉴定工作造成了困难。1929 年，开关制造商雷罗尔（Reyrolle）和位于泰恩河畔赫伯恩市生产开关装置的公司，建立了第一个短路试验站。在 20 世纪 20 年代和 30 年代，研制出了两种主要类型的断路器：空气熄弧断路器和油熄弧断路器。

空气熄弧断路器是利用高压将空气喷气流快速吹向电弧，电弧延伸后进入一个薄壁的竖筒中，热量很快散尽。磁吹熄弧断路器可用于电压高达 1.6 万伏左右的线路；单独一对空气熄弧触头可中断一条 10 万伏的线路。电压更高时，必须将若干对触头串联，并由一个联动机构进行操作。

在油熄弧断路器中，触头像在简单的油浸断路器中一样，是用油封闭起来的。有些油被电弧的热量蒸发后，分解成碳和大量的高压氢气。氢气的压力被用来拉长电弧，这一过程通常是对着一系列隔板进行的。氢气具有非常高的热导率，是电弧良好的冷却剂。不过，如果充油式断路器，尤其是油熄弧式断路器出了毛病，在压力下就会发生故障和爆炸，有着火的危险。这正是此类断路器的主要不足之处。

20 世纪 40 年代，采用了重量重且不易燃烧的六氟化硫气体，用作断路器的灭弧介质。这种断路器的一般结构虽类似于空气熄弧断路器，但六氟化硫的物理特性使它比空气更适合熄弧。不过，尽管六氟化硫自身性质不活泼，但硫和氟两者都是高腐蚀性物质，氟尤其如此。这就使六氟化硫断路器的结构中能采用的材料受到了限制。六氟化硫这种气体还必须保持完全干燥，所以断路器不能随便打开进行检查。此外，在所采用的工作压力下，温度约为 10 摄氏度时，六氟化硫气体便可液化。而如果将六氟化硫作介质的断路器在户外使用，就必须对它进行加热。长期以来，六氟化硫断路器主要用于室内，重点考虑的是减少着火危险。

1081

大约自 1930 年以来，真空开关就已在小电流的线路中使用了，这种开关的触头是用真空隔开的。1934 年，盛行采用额定电流高达 15 安的真空开关，而额定电流为 0.5 安或低于此额定值的真空舌簧开关，则广泛应用于电话交换机中。

45.4 变压器和整流器

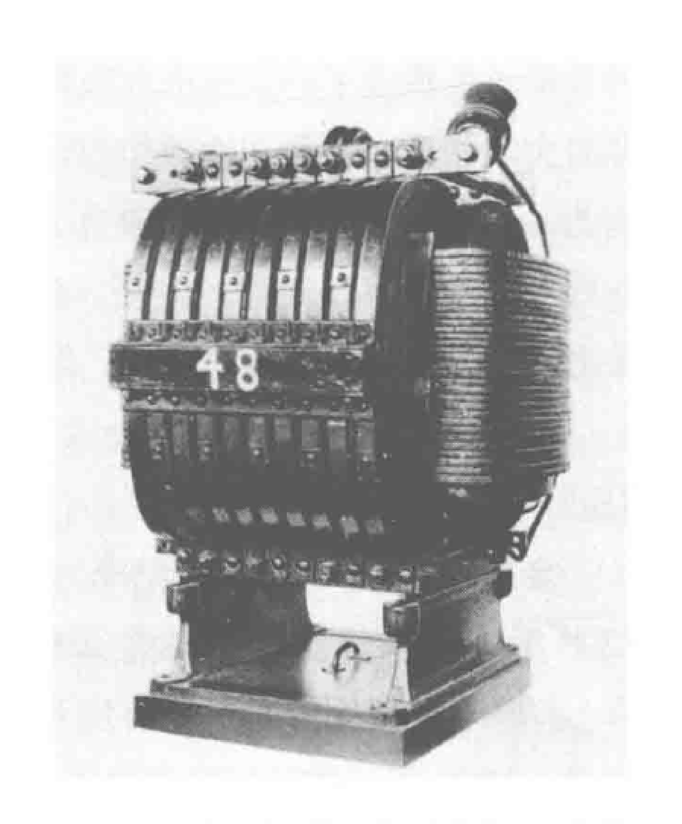


图 45.5 一台由费兰梯设计、大约在 1891 年制造的电压在 10 000 伏到 2400 伏的变压器。这台变压器安装在伦敦供电公司所属的一个变电站，一直使用到 1924 年。

在 1900 年以前，人们就很清楚地认识到，变压器是可将交流电从某一电压转换成另一电压的装置。1891 年费兰梯制造出了一台性能良好的 110 千瓦变压器（图 45.5），而用铁锻压件和预制线圈来装配变压器的做法被稳固地确立下来。大约在进入 20 世纪时，哈德菲尔德（Robert Hadfield）爵士研究了用优质铁做变压器铁芯以避免能量损失的问题，并研制出了含 4% 硅的硅钢，这种硅钢至今仍在使用。随着供电工业的发展，变压器也造得越来越大。许多大电网使用的变压器，效率通常在 99% 以上。

交流与直流之间，或不同电压直流电系统之间的转换，以往用的是电动发电机组。1928 年发明了汞弧整流器，从而使交流到直流的转换变得极为容易。为了把直流电转换成交流电，可将汞弧整流器“反向”使用，这一做法为高压直流输电装置（HVDCPT）的采用开辟了前景。

1082

就远距离输电而言，直流优于交流。一根给定截面和绝缘标准的导线，采用直流能输送更多的电力，并且还可避免交流系统中长线的电容和电感所引起的一些技术问题。

德国和瑞典曾对大功率汞弧整流器进行过大量的开发工作，但第一个大型高压直流输电系统则是 1950 年在苏联安装完成的，30 兆瓦的电力在莫斯科和卡希拉之间的 115 千米距离内输送。1954 年，瑞典

的哥根兰岛敷设了一条输送电压为100千伏、功率为20兆瓦的海底电缆与大陆联系，并利用地球作回转。英国和法国在1961年便由输送电压为 ±100千伏、功率为160兆瓦的电缆进行联网。20世纪60年代，新西兰的两个岛、瑞典和丹麦、撒丁岛和意大利以及加拿大和温哥华岛之间，先后敷设了海底电缆，靠高压直流输电电缆进行联网。

45.5 照明设备

金属丝白炽灯 19世纪末，碳丝灯得到了广泛应用。稍前，即1898年，用锇丝做灯丝的金属丝白炽灯就已问世（第V卷，第10章）。那时英国用的卡口帽灯座和美国风行的螺旋帽灯座都成了标准型号。1900年，碳丝灯平均光的输出为每瓦约1.4流明，预期使用寿命达400—500小时。据估计，那时仅在伦敦使用的这种碳丝灯就达250万盏。

白炽灯丝要求在非常高的温度下，必须保持其机械强度。为了弄清有哪些金属适合做灯丝，曾用许多不同金属做过实验。除了上面提到过的锇外，人们也用过钽。钽的优点是，对于给定电压来说，制造的钽丝灯比碳丝灯更能满足低烛光发光强度的需要。后来人们发现钨这种金属最适合做灯丝。不过，因钨的质地很硬、很脆，至少在一开始还无法将其拉成细丝。1908年，美国的库利吉（W. D. Coolidge）用压模将钨粉末压成棒条，生产出了颇具韧性的钨棒条。在急剧加热和锤击之后，钨棒条可被拉成非常细的钨丝。因为钨是一种相对好的导电体，所以一条钨丝需比相应的一条碳丝更长一些。这就给灯泡的设计制作带来了种种麻烦，因为灯丝较长意味着需要更多的支承。但这些问题很快就解决了，实际上几年之内所有的白炽灯都装上了钨丝。

1083

碳丝灯里，灯丝蒸发逸出的碳，积淀起来很快就可使灯泡的玻璃变黑。灯泡变黑后，其照明效果会明显降低，这便是人们一直在寻找灯丝替换材料的主要原因。金属灯丝也会逸出金属，只是照明效果降

低得稍慢一些。1913 年，朗缪尔（Irving Langmuir）提出将惰性气体注入灯泡以减小灯丝蒸发速度。他还倡导“螺旋形”灯丝，即先将灯丝绕成细小的螺旋形结构，然后再放入灯泡内。这些想法经采用后，证明很有效果。据此制成的充气钨丝灯曾享誉一时，获得“半瓦灯”的美称，因为这种灯产生每一烛光（1.019 坎）的发光强度只需半瓦电。

输送给电灯的大部分电能通常都以热的形式损耗掉了。1934 年出现了复绕式灯丝的电灯，即先把灯丝绕成螺旋形，然后将螺旋形灯丝再进行盘绕。这样既可减少因对流而引起的热量损失，也可减少因蒸发而产生的金属损耗，电灯的效率也因此得到提高。

白炽灯的寿命和发光效率相关。白炽灯在较高温度下工作，其发光效率能得到提高。不过这样一来，灯丝的蒸发速度会加快，灯的寿命也因此而下降。以往在设计新的电灯品种时，对发光效率的规定往往是：碳灯丝每瓦 3.5 流明；真空中的钨灯丝每瓦 8 流明；充气钨灯丝每瓦 12 流明。大功率聚光灯通常设计成在较高温度下工作，虽然发光效率提高了 1 倍，但其寿命却大大降低。大约自 1920 年以来，英国的厂家对大多数电灯所选用的标准设计寿命为 1000 小时，可是一些大用户对标准寿命却另有选择，例如国家煤炭委员会就要购买 2000 小时寿命的灯。

能斯特灯 临近 19 世纪末期，冯·韦尔斯巴赫（Auer von Welsbach）研制出了用于煤气照明灯的白炽灯罩。1897 年发明的氧化钍白炽灯就装有冯·韦尔斯巴赫用过的由稀土金属氧化物制成的灯丝，只要将它们加热到白炽状态就可发光。虽然一经接通，灯丝就导电，但要使灯亮起来还须使用辅助加热器。氧化钍白炽灯尽管从未被广泛采用，但其引人瞩目之处在于这种灯不需要抽成真空，并且和碳丝灯相比，其发光效率高到每瓦约 6 流明。

弧光灯 白炽灯出现后，碳弧灯因有些场合需要大型照明设备而继续用了好几十年，如火车站和一些街道的照明等。其间，人们做过

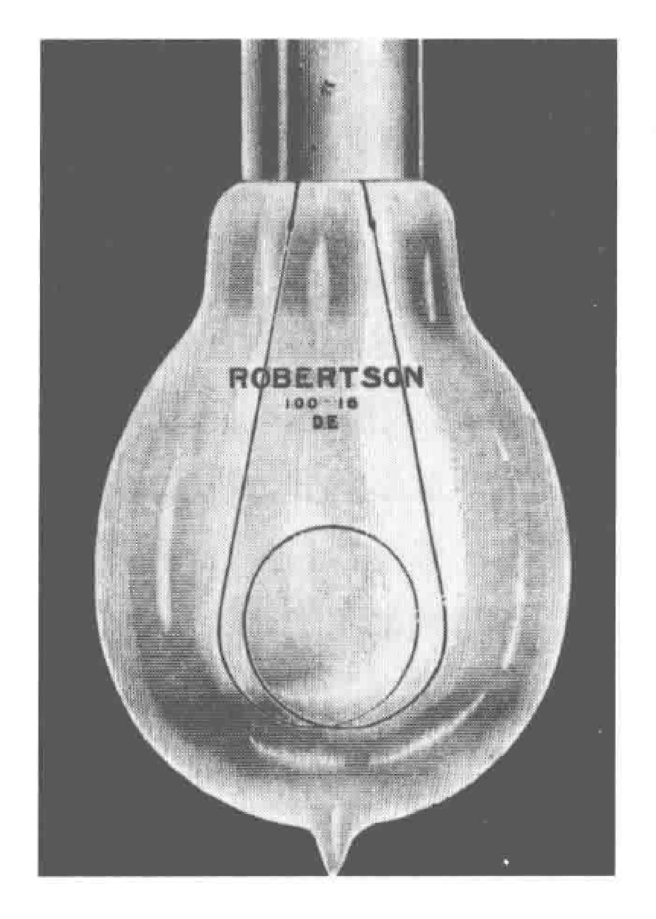


图 45.6 （a）典型的家用碳丝灯（据美国通用电气公司 1901 年的产品目录）。玻璃灯泡上与灯头相对的抽真空“尖头”为抽出空气后密封灯泡之处。

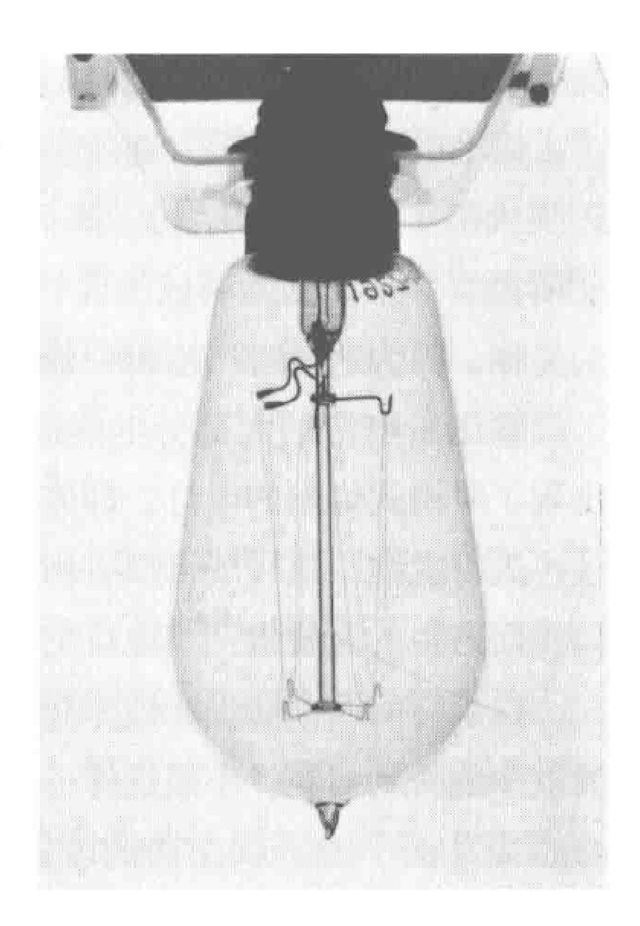


图 45.6 （b）早期金属丝灯需要很长的灯丝和很多支承点。此钨丝灯大约是 1910 年的产品。

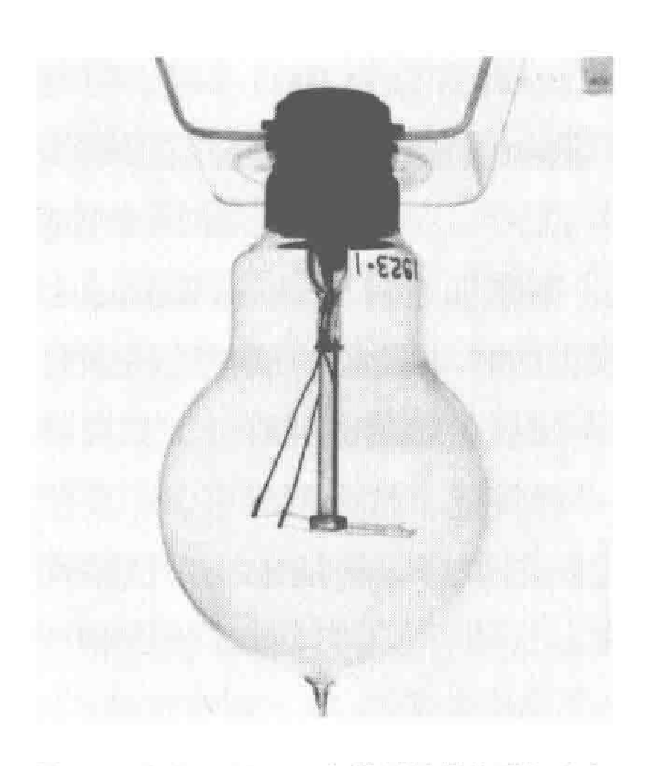


图 45.6 （c）一只 1913 年使用的螺旋形灯丝电灯，属于第一代产品。该灯的灯丝因绕成精细的螺旋结构而显得较为紧凑。

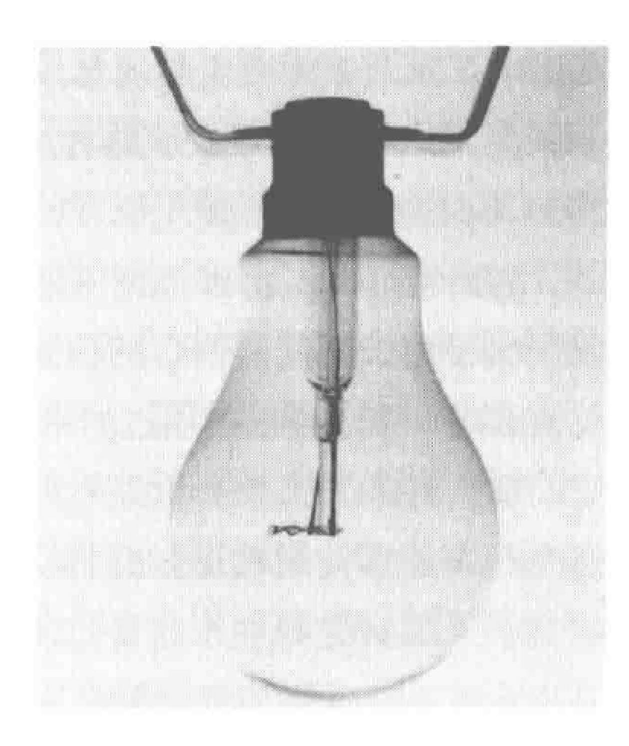


图 45.6 （d）从 20 世纪 20 年代起，灯泡一直被抽成真空，并在灯头的末端处封口，没有任何抽真空“尖头”显露于外。此灯约产于 1950 年。

若干较深入的研制工作。弧光灯的主要缺点是需要频繁更换碳棒。为了更换碳棒方便起见，便设计出了许多灵巧的机械装置。1893 年马克斯（Marks）采用了封闭电弧的办法，将碳棒封闭在一个玻璃管内。这一做法既可限制空气的流动，也可使碳棒的使用寿命提高 4 倍。

许多荧光物质，如镁盐、锶盐、钡盐和钙盐，曾作为填充料加到碳棒中，这有助于弧光灯发光效率的提高和颜色的改变。在 1897 年出产的“焰弧”灯中，借磁力的作用拉长电弧，也达到增加光量的目的。

放电照明设备和荧光照明设备 就在第二次世界大战之前，人们还研制出另一种光源，其产生的光量可达到消耗同等电能的白炽灯所产生光量的 4 倍。这便是利用电流通过某些低压气体时，产生可见辉光的放电灯。气体放电灯有好几种，分别使用不同的气体，而且不是使用热电极就是使用冷电极。其中最主要的有两种：一种是发浅蓝色光的水银灯，另一种是发单色黄光的钠气灯。

钠气灯因为发光效率高，所以普遍用于街道照明。这种灯可在高温下使用，并且为了减少热量损失总是用双层玻璃泡密封起来。在室温下，钠在灯内是以固态金属形式存在的。灯内还有少量的氖气。刚打开开关时，钠气灯跟氖灯一样，发出的是红光，直到钠气化并溢满灯泡内为止。

放电灯不能直接与电源相连接。在电路中，必须有某种限流装置，通常用电感器。热阴极灯和一些冷阴极灯还要求装有特殊的启动电路。与白炽灯相比，这些附加装置的费用将超过靠减少运行成本而得到的补偿。

第二次世界大战后使用的荧光灯，是水银蒸汽放电灯的改进。水银中的放电除产生可见光外，还产生紫外线。荧光灯的玻璃管内壁，镀着能吸收紫外线并可发出可见光的材料（荧光物质）。荧光物质选用得当，就可控制荧光灯的颜色。紫外线不散发出来，是因为它不能

1086

通过镀有荧光物质的玻璃灯管。

45.6 电动机

到 1900 年，直流电动机已被广泛使用，主要用于电力牵引。那时，人们对感应电动机和同步电动机的原理也相当通晓。不过，这些电动机在多相电源 1900 年在伦敦、1901 年在泰恩河畔的纽卡斯尔被采用之前，几乎未被使用过。而最先广泛使用电动机的是泰恩赛德机械制造业。查尔斯·默茨这位对英格兰东北部的电力发展负有重要责任的工程师，为劝说当地工业部门采用电力费尽了口舌。他发现用户将电动机与蒸汽机进行比较时，考虑的主要是电动机的机动灵活性问题，经济效益问题则放到第二位。

感应电动机和同步电动机 根据所提供的动力，世界上大部分电动机都是感应电动机。1888 年特斯拉（Nikola Tesla）发明的感应电动机（图 45.7），其结构是励磁绕组产生磁场，而磁场的有效方向是绕电机轴旋转的。因电流是在转子中感应生成的，便有了“感应”电动机这一术语。转子由感应电流磁化，并且以与磁场几乎相同的速度被带着旋转。磁场的旋转速度是由绕组的布排和电源的频率这两个因素决定的。就某一电动机而言，这两者通常都是确定的，因而电动机的

1087

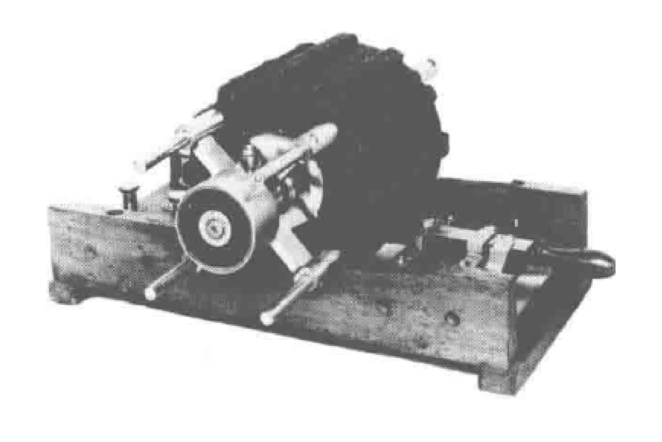


图 45.7（a） 特斯拉约于 1888 年制造的试验性感应电动机。

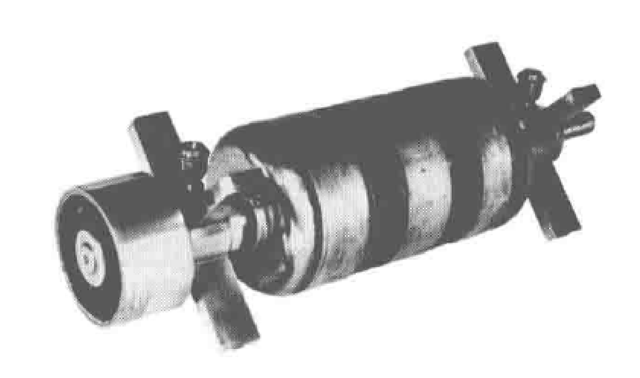


图 45.7（b） 特斯拉感应电动机的转子。

大致速度也是确定的。

同步电动机也是由特斯拉设计的，其中的磁场同感应电动机中的一样，但转子既可以是永久磁铁，也可以是带有通直流电线圈的铁芯。转子随着旋转磁场旋转，并始终与其保持同步。因此，同步电动机只能以一种固定的速度运转。

许多场合需要变速电动机，但用户希望能保留感应电动机和同步电动机的优点，因为这两种电动机显然是最可靠、效率最高的电动机。为此电动机被制造成具有两套完整的励磁绕组，可组成不同的磁极数。不过由此引发的后果是，这类电动机的尺寸比具有同等额定功率的普通电动机要大，成本也要高一些。

1957 年布里斯托尔大学的罗克利夫（G. H. Rawcliffe）发明了磁极调幅（或称“PAM”）电动机。它通过一个简单的转换开关，使电动机中励磁绕组反接以改变磁极数，而这种电动机在别的方面都是非常常规的。这些绕组如此布置使得两种接法给出不同磁极数的旋转磁场。“磁极调幅”这一术语之所以被采用，是因为绕组反接被认为是调制了由其他绕组产生的磁通。在任一相中，这将产生具有两种磁极数的混合磁场，但在三相电机中，可使其中一种磁极数下的合成磁场为零。因此，磁极调幅电动机本质上是一种多相电动机。

1088

直线电动机可以看作是感应电动机的发展。在这种电动机中，励磁绕组呈直线放置，而不是环绕一个圆筒。虽然直线电动机在 19 世纪就进行过试制，但其实际研制以及在工业上得到的应用，则到了 20 世纪下半叶才开始，主要是受到了莱思韦特（E. R. Laithwaite）工作成果的鼓舞。

小型电动机　20 世纪人们研制出了品种繁多的小型电动机，统称为“分马力电动机”。最主要的有两种：一种是交直流通用的电动机，另一种是小型感应电动机。

在使用中，交直流通用电动机要多于任何其他类型的电动机。实

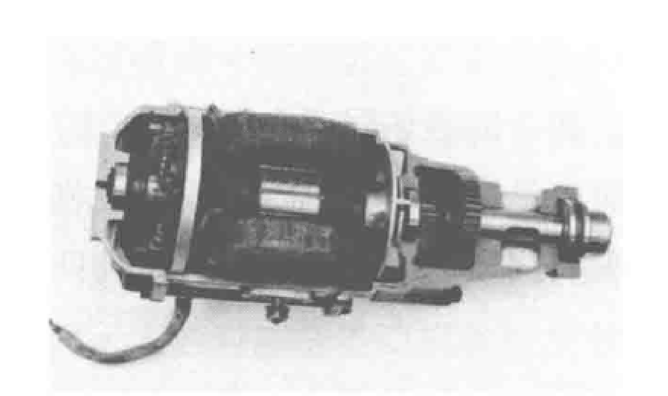


图 45.8 1914 年的第一台英制电钻。其重量为 23.5 磅（10.5 千克），额定功率为 370 瓦。

质上，交直流通用电动机是一种直流电动机。在这种电动机中，磁场铁芯是叠片式的，致使磁场和电枢的极性在电源频率下改变。这类电动机无论是通直流电，还是通 50 赫或 60 赫的交流电，都同样运转得很好。由于该原因，这类电动机一开始就被普遍使用。它们具有直流电动机的高起动转矩，这和感应电动机的低起动转矩相反，并且还可以比感应电动机转得更快。在小型家用设备和轻便工具中（例如电钻），高速交直流通用电动机所达到的功率—重量比要比任何其他电动机可能达到的更大。通常使用的速度为 4000 转 / 分到 1 万转 / 分，也可达到 2 万转 / 分。大约自 1925 年以来，交直流通用电动机就一直用于真空吸尘器、地板打光机、理发用吹风机、缝纫机和一些便携式工具中。例如，手提式电钻是德国于 1895 年首先制造出来的，其中就装有直流电动机。1914 年沃尔夫（Wolf）制造出了英国第一台“手提式”电钻，这台电钻重十几千克，有一台两极的复绕式直流电动机，其转速为 350 转 / 分，额定功率为 370 瓦（图 45.8）。第一台装有交直流通用电动机的电钻制造于 1925 年，重 2.5 千克，额定功率为 100 瓦，带负载时转速为 1500 转 / 分。第二次世界大战期间，甚至还有重量更轻的电钻生产出来，专供在工厂工作的妇女使用。这种电钻仅重 1 千克多，额定功率为 175 瓦，转速为 2750 转 / 分。

通用式电动机可以是串联式的，也可以是并联式的，而实际应用中一直都是以串联式的为主。在大批量生产中，交直流通用电动机的电枢和励磁铁芯迭片都是由同样的矽钢片冲压成形的，线圈直接绕在铁芯迭片的绝缘线槽里，而不是像大型电动机那样，分别绕在线圈架

上后再嵌进线槽里。交直流通用式电动机的换向器、电刷和轴承都设计成最耐用的，很少或根本不用维修，因此这种电动机在不保养的情况下常可连续运转多年。

在家用和相应场合使用的交直流通用电动机得到发展的同时，小型感应电动机也发展迅速。鉴于单相感应电动机本来就不能自行启动，因此小型感应电动机可按其启动装置进行分类。在额定功率很小的情况下，罩极电动机用得最多。这种电动机通常在像风扇和留声机这样的一些设备中采用，因为这类设备所需功率很小，对结构简单和性能可靠的要求则超过一切。“罩极”这一名称的出现，是因为一磁极的一部分为短接线圈或铜扁条环所罩住。与非罩住的磁场相比，在线圈或铜扁条环中所感应的电流能阻碍铁芯内磁场的增大或减小。最终结果是，产生一个具有旋转分量的能带动电枢转动的两极磁场。因此罩极电动机是一种两相感应电动机。这种电动机的效率低，只适用于所需功率很小、运行费用甚微的场合。

1090

还有一种极其重要的小型感应电动机，这便是“电容启动”电动机。从 20 世纪初以来，它就一直被采用。这类电动机被大量地用在洗衣机和一些类似的轻型机器中。这种电动机的励磁绕组通常分成两部分（因此有时使用“分裂磁场”绕组这一术语）。绕组的一部分与电源直接连接，另一部分则通过电容器再与电源连接。电容器产生一个相位移，所以这种电动机是在两相电源下运转的。

参考书目

Dunsheath, P. *A history of electrical engineering.* Faber and Faber, London. 1962.

Emanueli, L. *High voltage cables.* Chapman and Hall, London. 1929.

Hennessey, R.A.S. *The electric revolution.* Oriel Press, Newcastle upon Tyne. 1972.

Hunter, P.V., and Hazell, J. Temple. *Development of power cables*, Newnes, London. 1956.

Mellanby, John. *The history of electric wiring.* Macdonald, London. 1957.

Philpott, Stuart F. *Fractional horse power motors.* Chapman and Hall, London. 1951.

Rowland, John. *Progress in power–the contribution of Charles Merz and his associates to sixty years of electrical development, 1899–1959.* Privately published for Merz and McLellan. 1960.

Salvage, B. Overhead lines or underground cables ：the problem of electrical power transmission. *Endeavour*, **34**, 3, 1975.

第46章 电子工程

J. R. 蒂尔曼（J. R. TILLMAN）
D. G. 塔克（D. G. TUCKER）

电子工程是20世纪的产物，因为差不多直到19世纪末，电子才被发现并得到描述。虽然这一学科是从电机工程中自然产生出来的，但从本章中可以了解到，它的许多方面正如工程师们目前普遍认同的那样，在19世纪就有了自身产生的根源。毫无疑问，热阴极电子管的发展引发了电子工程的产生。在这种器件中，电子从一个在抽空气体或真空中的加热表面发射出来，并置于电场力作用下，从而形成种种能够得到利用的效果，产生、放大和控制电信号。本质上，它是靠形成电子工程的那些电子设备来进行信号处理的。曾经导致电子工程产生的热阴极电子管，现在基本上被类似晶体管的固态器件所取代，尽管直到1950年才刚刚开始前进发展。

电子工程的早期应用几乎全在电信领域，这些已经在其他章节（第50章）加以叙述。后来又应用于工业、计算机和雷达等方面，这些也另有叙述。因此，本章的论述就集中在电子工程的基础元器件、电路和基本系统的历史上。在准备写作的过程中，我们很快就发现自己不可能忽略物理学家和工程师的感受，去为那些完全是科学门外汉的人撰写一章，因此采用了少量的物理学知识，例如，如果没有一些关于极其重要的反馈原理的解释，就不可能评价像德福雷斯特（Lee de Forest）和阿姆斯特朗（E. H. Armstrong）这样一些先驱者的贡

献。即使按这种方式撰写，那些畏难的读者仍然能够领会到我们这里所讲述的电子工程史中的历史性重大事件。在本章包含的少数电路图中，我们使用了英国的标准符号。

1092

46.1 热阴极电子管

一旦确立三极管能以重复生产的器件形式出现，热阴极电子管便得到稳步发展，人们可以更充分地利用它的放大、整流和调制电信号的性能，以及表现在其他方面的能力，例如作为开关、各种波形的发生器、信息存储器以及计算机中的运算器。然而，它早期的发展是渐进的，几乎没有呈现出广泛的应用前景。现在，我们就从对后来电子发射现象所显示的效应开始考察。

电子发射 1873 年，古思里（F. Guthrie）[1]记录到热金属靠近验电器时所产生的反应，也就是我们今天所知的热电子发射。10 年之后，爱迪生（T. A. Edison）[2]揭示出电流只能在真空白炽灯中的第二电极和加热的灯丝之间沿一个方向流动。直到 1897 年由汤姆孙（J. J. Thomson）[3]确定了自由电子的存在和基本特性后，这一效应才得到了正确的解释。汤姆孙测量了电子的荷质比，并提出所有自由电子无论是如何产生的都无法相互区分。1898 年，通过电荷的近似测量结果，他推断出电子的质量大约是氢原子质量的千分之一。

在随后的 10 年里，为电子工程奠定基础的其他一些电子学效应被发现。现已公认的是，当运动电子和物质碰撞时，就会产生辐射，伦琴（W. K. Röntgen）在 1897 年发现的 X 射线就是一个著名的例子。在赫兹（H. Hertz）观察到紫外线照射对火花隙放电现象的影响之后，埃尔斯特（J. Elster）和盖特尔（H. Geitel）曾经研究了相反的效应（1889 年后）。他们证明了这种照射引起金属发射电子，在数量上与照射的强度成正比，而和发射速率无关，并且只要超过某一限定的波长，就不会有电子发射。这些发现和普朗克（M. Planck）量子理论的

提出（1900 年）解释了经典波动理论的失败，说明了炽热物体辐射的关键特征的原因，从而导致爱因斯坦（Einstein）在 1905 年提出了他简明的光电发射方程：

$$h\nu=q\varphi$$

在这里，ν 是能激发发射的最长波长的频率，h 是普朗克常量，q 是电子电荷，φ 是金属的功函数（$q\varphi$ 被定义为使一个电子从金属中移出一大段距离所需的能量）。

在涉及上面结果的其他研究中，理查森（O. W. Richardson）[4] 的研究（1901 年）与热阴极管最为直接相关。他用炽热的铂作发射源，总结出一项由 exp（$-q\varphi/kT$）决定的热电子发射与温度的关系，其中 k 是玻尔兹曼（Boltzmann）常量，T 是绝对温度。

最初，电子管的阴极用难熔的金属（主要是钨）做成灯丝状。这些金属比其他能做成丝状的金属具有更高的功函数值（例如 4.5 电子伏），以满足高工作温度（如 2500K）的需要，并且保证在这一温度与它们的熔点之间有相当大的余地。1914 年，朗缪尔（Irving Langmuir，美国）首先采用的镀钍钨就具有一个仅为 2.7 电子伏的功函数，工作温度大约为 1650K。它具有明显的优点，使用了一段时间，但很快又被氧化物阴极大量取代。这些替代品是 1904 年由韦内尔特（A. Wehnelt）[5] 研制的，由部分还原作用相应激活的碱土金属（尤其是锶和钡）的混合氧化物薄层（约 0.0025 厘米）所组成，功函数相当低（约为 1.2 电子伏），在 1000K—1100K 的温度下就能够充分发射，从而大量节省电力，增加使用寿命。

热阴极二极管　正像我们知道的那样，虽然白炽灯里板极和丝极间的单向导电机理在 20 世纪初已经被研究清楚，但是直到 1904 年弗莱明（J. A. Fleming）建议把它用作无线电接收机中的一个检波装置之后[6]，它的实际应用似乎才被提出。那时，一般接收机都使用粉末检波器或电磁检波器（参见第 50 章），它们都能相当严格地被称为检

波器，因为对无线电信号接收的响应引入了一个较大功率的辅助线路。众所周知，自1898年以来，加工明显接收到的无线电信号的另一种方法就是对它进行检波，不管是包络成分（通常处于声频状态下）还是直流（d.c.）成分，都能够分别由耳机或电流计进行“检测”。弗莱明发现的热阴极二极管是一个实行这种检波的理想装置，按着图46.1（a）中的例解方式，把热阴极三极管应用于无线电接收机中，图46.1（d）中所显示的是二极管的工作原理。当时的无线电信号或许采用莫

1094

尔斯（Morse）电码，通过电键来控制，每一个信号都由电火花发报机的一系列脉冲组成，如同第1条曲线所显示的那样。二极管只通过电流波形的正量部分，所以里面的电流如同第2条曲线所显示的那样。其中，射频分量通过了电容 C_3，使剩下的电流通过耳机，像第3条曲线所显示的包络成分一样。

一段时间以后，弗莱明认识到如果稍微改变使用二极管的方式，就能够获得一个较高的灵敏度。而不是依赖一个理想化概念，我们从

1095

图46.1（c）中看到的这种与现实相差很远的状况。可以同样容易地使所有波的正量电流通过，而不让波的负值电流通过。如图46.1（b）所示，他在二极管电路中加了一组偏压电池，因此甚至在没有信号时，电路中也有电流，正如图46.1（c）中曲线上的工作点 P 所显示的那样。现在，在接收波的正、负值振幅间电流之差要比以前所得到的“整流”波更大一些。1908年，这种方法获得了专利。

短短几年，热阴极二极管就获得了广泛应用，在小型装置中被用作信号整流器，在稍大点的装置中被用作家用无线电接收机中的电源整流器，在大型装置中被用作功率整流器。对有些应用来讲，需要高真空；但在其他一些应用中，一些气体的残余是被容许的，甚至是合乎需要的。

热阴极三极管 美国人德福雷斯特首先发现了对热阴极器件增加第三个电极的优点[7]。这一发明引起了激烈的讼争。弗莱明对专利

权的要求不是完全没有道理，他认为三极管是对二极管的改进，同时还依赖二极管。不过，德福雷斯特声称它是一个新发明。专利权的不确定性延误了整个专利期三极管的应用开发。尽管如此，三极管的研究和应用仍然产生了一些非常重要的新成就。

1905—1906 年，德福雷斯特一直在无线电信号检波器系统方面

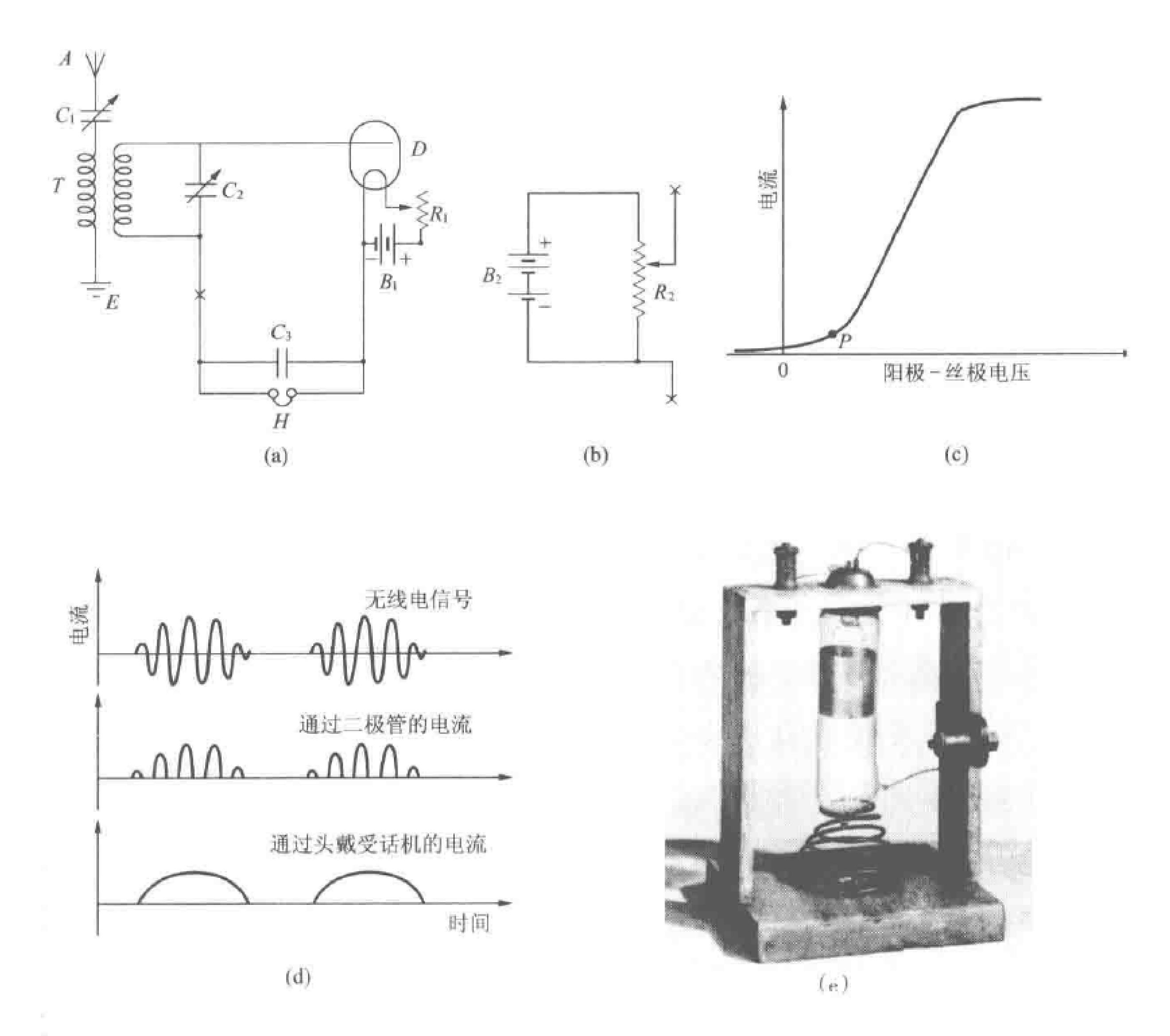


图 46.1 （a）使用一个弗莱明二极管 D 的无线电检波器电路。

（b）在（a）中的 X 处插入改进了灵敏度的偏压电路。

（c）二极管的电流 / 电压曲线。P 是在施加了偏压条件下的工作点，与在（b）中一样。

（d）工作原理。

（e）弗莱明热阴极二极管（1905 年），在木质的支架内。

A= 天线；B_1= 丝极的电池组；C_1、C_2= 可变电容（电容器）；C_3= 给头戴式受话机 H 加的旁路电容，以便让射频电流由此通过；T= 天线调谐线圈或变压器；E= 接地；R_1= 调节灯丝温度的电阻；R_2= 调节偏压的电阻；B_2= 偏压电池组。

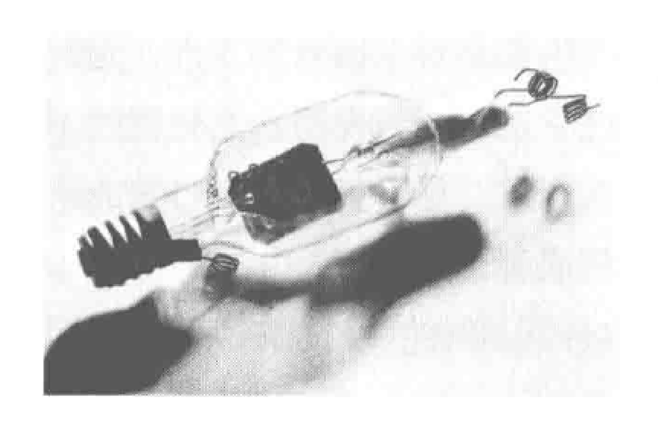


图 46.2　德福雷斯特的三极真空管。

进行研究，据说在不了解弗莱明研究工作的情况下，曾经试图使用一个加有铂板极的白炽灯。他还继续增加了一个第 3 电极，并试验了几种不同形式例如在管子外加一箔片，在管子里第一板极的对面加第二板极，或在丝极与原来的板极之间加一个金属栅极。结果，最后的这一种形式成了标准的三极管或电子管（图 46.2）。（“电子管”这一名称来自弗莱明的二极管，在英国这一名称得以沿用；但在美国，二极管很快就被改称为“真空电子管”。）德福雷斯特把他的装置称为“三极真空管”，但这个名称仅仅使用了 10 年。

在无线电报机的接收中，三极真空管作为更灵敏的检波器只使用了几年。增加的电极很快就被称为“栅极”，它在图 46.3（a）具有代表性的电路中，通过电容 C_4 连接到信号输入端。出现在图中的电阻 R_2 最初是不存在的。由于栅极和电容连接，三极真空管可以作为电报信号的检波器工作，因为在阻尼波的入射脉冲的每个正振幅上流动的栅极电流（例如来自一个电火花发报机），其损耗来自电容的电荷，并使栅极电压相对于丝极为负值，减小了阳极电流。在每个脉冲的结尾，电容将靠电流的反向流动进行恢复，这是电子管中气体电离作用的结果。阳极电路中的耳机将在波的脉冲重复频率中，由这些电流的变化给出一个音频信号。当“硬性的”电子管投入使用时，栅漏［图 46.3（a）中的 R_2］必须为电容器的电荷恢复创造条件，这是 1914 年由朗德（H. J. Round，英国）发明的。

然而，三极管的真正重要性不在于它的检波能力，而在于它所提供的信号放大功率。但是，如果有电容耦合栅极存在，这一点就无法做到，因为阳极电流的调制通常是不随信号波形而发生的。所以，当

洛温斯坦（F. Lowenstein，美国）在 1912 年发现了适度电压的一个负偏压的有利效应时，它向前迈进了一大步，并通过电池组与栅极电路串联而得到应用，如图 46.3（b）所示。具体而言电子管要能在最好的运行条件下工作，信号电压偏移能够保持在正极限范围之内，栅极电流变得过量并且在达到负极限处电子管就断开。这种方式的确能使被吸收的信号功率变得很小，功率放大倍数则比较大。人们后来发现，通过数值的适当选择，当信号像在无线电话中一样是连接载波型时，朗德的栅极漏泄和电容排列［见图 46.3（a）］能够给出一个适当的稳定栅极偏电压，在许多应用中就无须使用电池组了。

1915 年，在纽约和旧金山之间横贯大陆的电话线中，二级或更多级可产生大约 20 分贝放大的三极放大器投入使用。

早期的电子管内存有残余气体，成为“软性的”电子管，其特性没有规则，在阳极上不能承受几十伏的电压。在 20 世纪头 10 年，“硬性的”或高真空的电子管进入了使用阶段。较好的机械设计能使电极的间距减小，并通过栅极电压获得对阳极电流更大的控制，这就使得较高的放大倍数成为可能。

公正地说，三极管的发明应当归功于德福雷斯特，但是，他的著作清晰地显示出他根本不懂如何操作，或者说不懂如何正确地使用它。三极管涉及的一些物理学原理，基本上靠朗缪尔（美国）的努力才得以解释。电路中所使用的原理，也主要归功于阿姆斯特朗（美国）在论文中的精辟阐述[8]，这是 1915 年的事情。用图 46.3（c）中所显示的典型实测特征曲线，他指出了三极管怎样才能用作一个整流器或放大器，或两者兼而有之，也指出了如何用反馈来增加放大倍数或制作一个自激振荡检测器，还指出了如何利用栅极 - 阳极电容等等。

1098

刚刚提到的反馈原理极其重要，它的发明者是谁存在着大量的争论和诉讼。在美国，主要的竞争者是德福雷斯特和阿姆斯特朗，但也有一些英国和欧洲的发明者，都在 1913 年研制出了反馈电路[9]。那

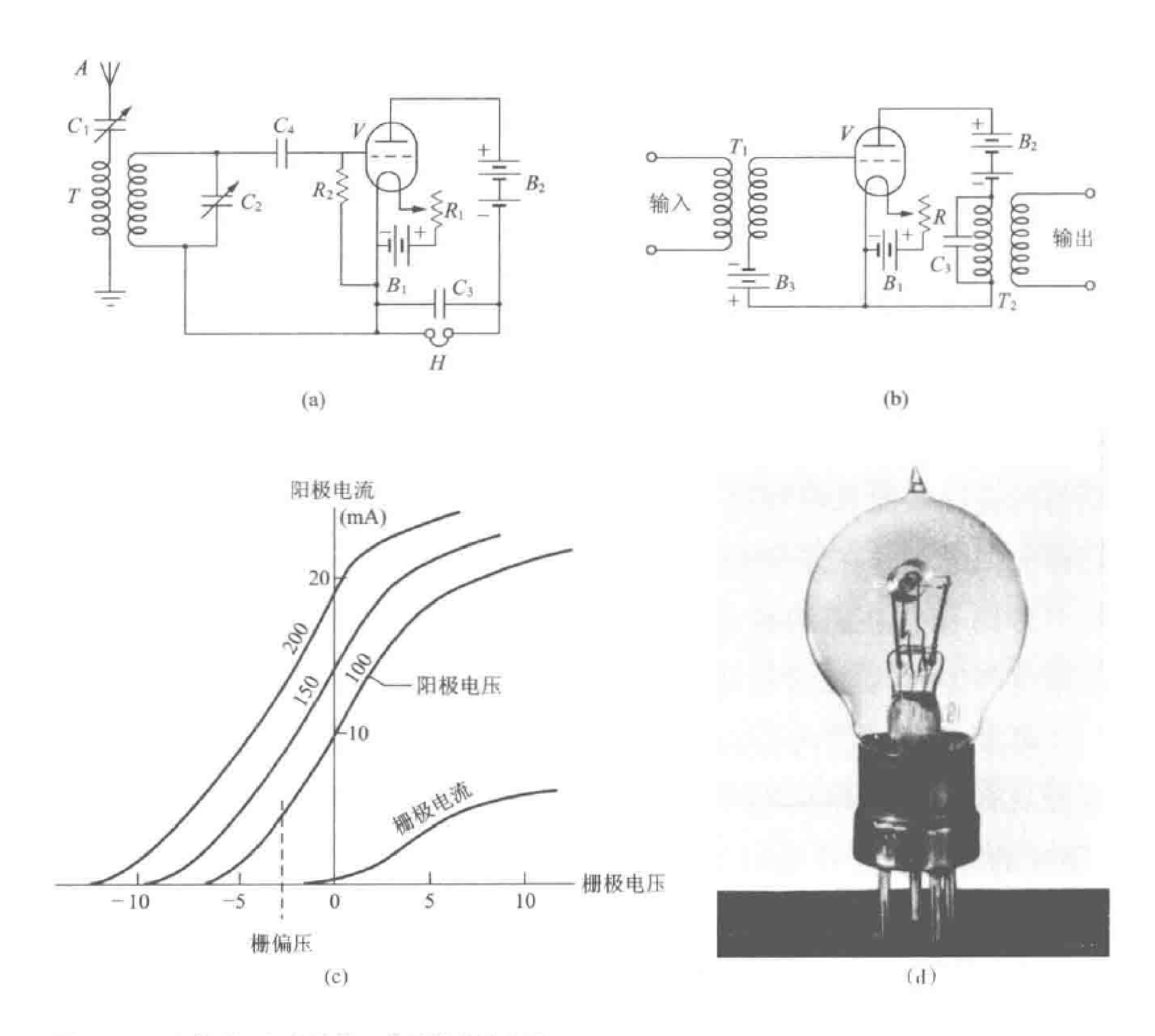


图 46.3 （a）使用三极电子管 *V* 的无线电接收机。
（b）使用三极电子管 *V* 的放大器。
（c）小型三极管具有代表性的特征曲线。
（d）法国或军用“R”型三极电子管，约 1915 年。
B_1= 灯丝电池组；B_2= 阳极（或板极）电池组；B_3= 栅极偏压电池组；C_4= 栅极电容器；R_2= 栅极漏泄电阻；T_1，T_2= 输入和输出变压器。其他符号与图 46.1 同。

时，人们设想作为正反馈有两个主要用途：一个是在三极管电路中提供一个非常高的放大倍数，并伴随有增大了的选择能力；另一个是能提供一个使用三极管的高频振荡发生器。这两个用途在图 46.4（a）和图 46.4（b）中给予了说明。图 46.4（a）显示了一个无线电接收机电路，里面的三极管有一个负栅偏压，起着把检波器和放大器结合在一起的作用，阳极电流—栅极电压曲线相对于偏压点没有对称性。电路的输

出部分包括输入变压器 T 上的绕组 T_F，这就把一些输出信号反馈到与输入信号同相的栅极。这样，一个给定的输出就只需要一个小得多的输入，接收机会更灵敏，反馈也使调谐变得更灵敏。图 46.4 (b) 显示了一个三极管放大电路。在这一电路中，使输出返回同输入耦合，借助足够强的耦合承受近似按调谐电路 LC 的共振频率而进行的自激振荡。对无线电发射机来说，这样一个振荡发生器比电火花、电弧和至今仍在使用的旋转机型更能令人满意，并且更好地适用于音调调制，促进了无线电话的进步。

由于电子管线路的发展，它的用途越来越广泛，在三极管介入电路理论方面变得极为重要。1915 年，阿姆斯特朗开始使用特征曲线，从这时开始的 10 余年里，逐渐形成了电子管参量的概念，很快就被引入到等效电路中，用来表征三极管和后来其他类型的电子管。这些参量本质上是一些表示两个变量相互关联的偏微分，其他量则保持为常量。3 个最重要的参量是：

（ⅰ）在恒定的阳极电流下，放大系数为 $\partial V_a/\partial V_g$。

（ⅱ）在恒定的阳极电流下，互导为 $\partial I_a/\partial V_g$。

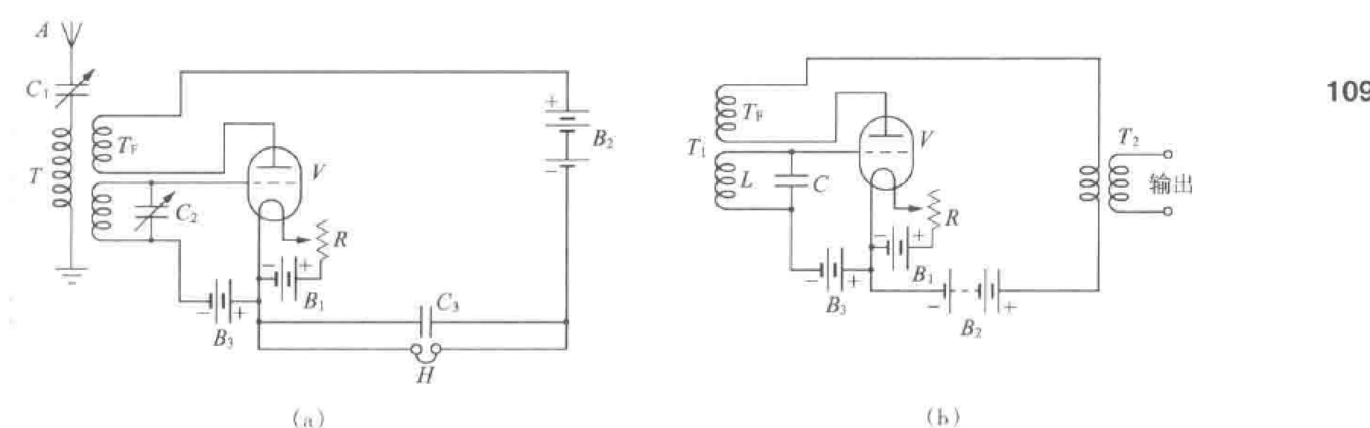


图 46.4 （a）具有正回授或回动，即具有正反馈的无线电接收机。

（b）振荡发生器。如果在 T_1 处耦合是松弛的，振荡频率近似为 $f=(1/2\pi)(1/LC)^{1/2}$ 赫。T_F= 无线电调谐变压器 T 上的反馈绕组或线圈；T_1= 使从阳极（绕组 T_F）来的反馈与具有电感 L 亨的栅极电路绕组耦合的变压器；C= 以法为单位的调谐电容。其他符号如同图 46.1 和 46.3 中的一样。

（ⅲ）在恒定的栅极电压下，内阻为 $\partial V_a/\partial I_a$。

对于电路设计和计算的大多数目的来说，有这 3 个参量就足够了，因为栅极电流经常可以忽略不计，并且还可以把电极间的电容看作外加元件（当然，这种讨论是高度简化的，因为这里只打算介绍一些基本思想）。

对于电子管的设计师们来说，用他们设计的参量术语来了解这些特征曲线就变得同样重要了。现在，理查森的方程式表示了（饱和或温度限定的）总电流，通过把足够高的电压施加集电极上，这种电流能够从一个发射极得到。然而，这种饱和电流是所介绍的电极电压下阳极电流的 10 倍到 100 倍。这种差别由电子的电荷所引起，电子产生于做缓慢运动的一些电子所形成的稠密电子云中，这些缓慢运动的电子则由非常接近于阴极表面而又很强的负电荷（空间电荷）区所发射。负电荷区利用迟滞电场将这些电子减速到某一程度，使其中的大多数返回到阴极。然而，由于迟滞电场受到附近控制栅极的电压影响，并且在较小程度上受到阳极的电压影响，有一小部分电子不再返回阴极。这就导出了把 I_a 与 V_g 和 V_a 联系起来的基本方程式，即：

$$I_a=k(V_a+V_a/\mu)^n$$

在上式中，$\mu=\partial V_a/\partial V_g$，并且依赖于电极间的间距，$k$ 是一个与几何形状相关的常数，n 对于旁热式阴极大约为 1.5，对于直热式阴极则大约为 2—2.5。只要上述那个发射至少仍然是 I_a 的几倍时，饱和发射的任何损耗对这个方程式及其常数就几乎没什么影响。

1100

几年以后，电子管的设计与构造得到了改进。然而，在改进型三极管（参见图 46.5）的基本结构上，除了进一步增加电极（多半为另一些栅极）和以旁热式阴极代替直热式阴极以外，没有任何根本性变化。在较早的直热式电子管中，阴极呈现一个或多个发夹的形状，由直流电路来加热。紧密地环绕阴极的控制栅极，由绕在两根支架杆上的细

螺旋金属丝构成。阳极仅是为了接收那些能够穿过栅极而到达它上面的电子，采用了按较大距离来配置的一对金属板的形式（通常是半扁平圆筒形）。在那里，需要小的电绝缘片（通常为云母片）来保持电极处于规定的间距。必要时，电极的结构可以安装成整体式具有良好真空的真空管，并装有一些导出线连接到装有接头管脚的胶木底座上。旁热式阴极的采用大约在 1930 年，它有两个优点：首先，来自电网的原交流电（a.c.）只需转换成低电压，就能够用来驱动它，从而免除了对电池组或整流器和平滑电路的需求。其次，阴极电压（相对于地面）在电路中更多是由设计者选定的。加热器是一个扭弯的镀有耐火绝缘材料的金属发夹形物体，放入一个圆柱形的阴极里。这个阴极的外表面用一种适当的碳酸盐和胶合剂的混合物来喷镀，然后加热，以便使碳酸盐转化成氧化物，并且通过在高温下运行一段时间使其活化。

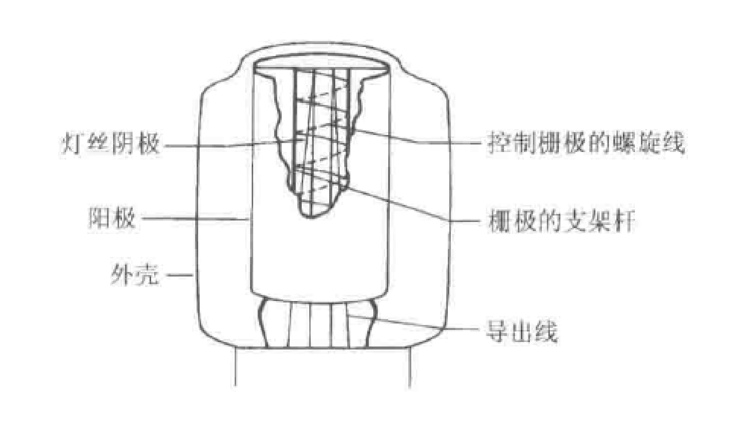


图 46.5　一个直热式的三极管。

由于远距离无线电通信和广播需要非常强的信号功率馈入发射天线，人们开发了专用三极管，引进了专用材料和阳极水冷法或整个电子管的水冷法。

热阴极四极管　由于三极管的结构得到了改进，产生了较高的放大倍数，并且使多级放大器的使用变得普遍起来。但是，人们也碰到了来自阳极和栅极之间电容的麻烦。这种电容限制了频率范围，只有超过这个范围才能运行。也许更为严重的是，它引起了不必要的反馈，导致产生被认为是信号放大器的自激振荡。为了克服这一毛病，黑兹尔坦（L.A.Hazeltine，美国）在 1923 年采用了中和式高频调谐放大器原理。根据这一原理，信号通过一个单独的通路进行反馈，以便消

除由于阳极—栅极电容所引起的不希望得到的反馈[10]。然而，更好的解决办法是使用大大减小了电容的电子管，这就是四极电子管。在20世纪30年代，它对无线电接收机的设计产生了极为重要的影响。

在正常的栅极和阳极之间采用了一个附加的栅极（后来称为帘栅极，或仅称为“帘栅”），以减小阳极和栅极间反馈耦合，这个想法是肖特基（W. Schottky，德国）在1916—1919年间提出来的[11]，但直到1926年才由朗德使其成为可行。帘栅被保持在恒定的高电压下，加速了来自阴极的电子；因为是开放式网状结构，让电子通过它而达到阳极。这样，阳极电流就几乎与阳极电压无关，也就是内阻几乎是无穷大的。对于电压和功率放大来说，它都是一个良好的电子管。

帘栅极电子管具有限制其在一般情况下应用的特性，对于某些特殊的目的则能够开发利用。二次电子效应就是这样：作为常态的或一次的电子流撞击的结果，二次电子是由阳极发射出来的那些电子。当帘栅极和阳极的相对电压使二次电子被吸引到帘栅极时，这些电子就干扰了电子管的放大功能。当超过阳极电压的限定范围，在低于帘栅极电压的条件下，随着阳极电压的增加，阳极电流实际上在减小，从而产生在电路中能被利用的负电阻效应，例如“负阻管”振荡器。当调谐电路跨接负电阻而连接时，它的电阻下降就被抵消了，并且以近似其共振频率进行自发振荡。

热阴极五极管　一般来说，尽管四极管是一种良好的电子管，而且持续生产和使用长达几十年，但是另一种电极（插入帘栅极和阳极之间的抑制栅极）的使用可以克服来自阳极次级发射所带来的困难。通常这种栅极在接地电压或接过接地电压下直接连接到阴极上，所以就排斥了二次电子，使其返回到阳极。由于开式结构的存在，它却不阻止由帘栅极加速的一次电子达到阳极。这种五极电子管即五极

1102

管，是荷兰霍尔斯特（G. Holst）和特勒根（B. D. H. Tellegen）在1926—1927年发明的[12]。它是用途最多、最成功的电子管形式，构成了大多数新电子产品的有效元件，直到20世纪50—60年代被晶体管所取代。

在20世纪30—40年代，利用五极管研制成了种类繁多的电路，这里不可能一一说明。图46.6（a）显示了使用输入和输出变压器的两个五极管的放大器。在两个电子管中，抑制栅极直接连接到阴极上，并且帘栅极直接接通高正电压。其他结构都是经常使用的、最简单的结构。第一级是提高跨接于阳极负载电阻 R_L 的放大信号电压，并且通过能阻止任何高直流电压到达栅极的电容 - 电阻耦合 C、R_G，把这一电压转移到第二级电子管的栅极上。第二级电子管将其放大信号功率提高，并通过输出变压器送进负载。每个电子管的第一个栅极即控制栅极的负偏压的方法几乎已经成为通用，即通过在连接于阴极电路里的电阻 R_C 中的电压下降来获得。电容 C_C 是用来消除任何信号分量的。这个系统要比栅极偏压电池组的使用方便得多。图中显示的这些电子管，都具有一个简单的旁热式阴极。人们还制造出了和干电池一起使用的小灯丝型五极管。

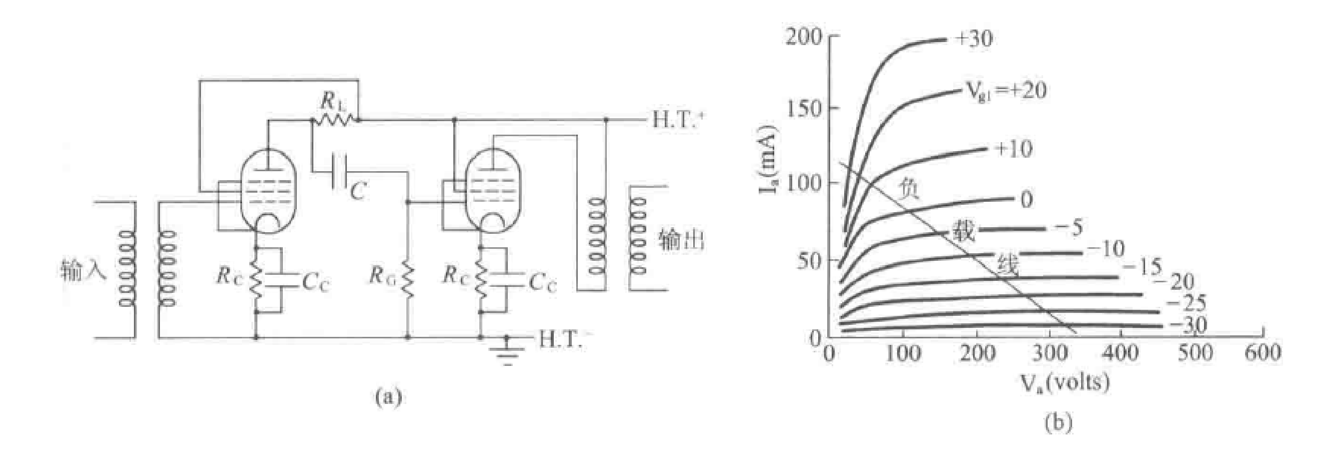


图46.6 （a）具有两个五极管的放大器电路。（关于符号见正文）
（b）具有代表性的功率五极管曲线。
V_a= 阳极电压；I_a= 阳极电流；V_{g1}= 控制栅极电压。

图 46.6（b）显示了典型的五极管特征曲线族。“负载线”有一个 $1/R_L$ 姆[1]斜率，并且终止在右边的末端上，为高压电源的电压。既然这是阳极的电压，阳极电流就为零。通过施加的信号一般不能把栅极电压变成正的，因为随着栅极电流的流动将导致失真；同样，也不能把栅极电压变得过负。由于在较大的负压下，特征曲线的限制增加也会呈现出失真现象。因此，R_C 应选择如图（b）例中的数值，即约为 –10 的偏电压。

在输出级中，工作情况稍微有点差别。在这里，假设一个理想变压器，即普通的或“静态的”变压器，阳极电压等于高压电压，那么来自第一级的信号电压就会引起阳极电压沿着高压电压上下波动。对于功率级，这显然是电子管更有效的工作方式。

1103

其他类型的电子管电路 在热阴极电子管电路的上述讨论中，所涉及的工作范围限于整流、放大和振荡发生这 3 个非常基本的电路中，最后一项是试图用来提供一个基本正弦波。这些工作为满足大部分电子通信的需求创造了条件，不过直到 20 世纪 30 年代初，在工业上的应用仍然极少。然而，另外一些早期的需求却上升了，例如阴极射线管示波器的时基电路。20 世纪 30 年代，电视和一些军用电子设备（如雷达）的日益发展，需要电子管电路来完成一些功能，例如，具有精确线性扫描的时基、快速脉冲发生器、能根据适当的脉冲信号的接收、把电路状态由一种变换成另一种的触发器、能根据给定的因素增加和减少波或脉冲系列频率的电路、能在规定意义上完全改变信号波形的电路等。已经出现的各种新型电路都是非常复杂的，不可能在这里进行广泛而深入的讨论。

具有线性扫描的时基极其重要，将被看作使用电子管新方法的一个范例。它建立在 20 世纪 20 年代已知的张弛振荡器的基础上。在本质上，这个简单的装置如图 46.7（a）所示，在那里 N 一般是小型

1104

1 姆是电导的单位，并且是电阻单位欧姆的倒数。

氖灯，而不是热阴极电子管。当首先连接电池组 B 时，电流流经高电阻 R 给电容 C 充电，电压升高，如图 46.7（b）所示。如果 N 不存在，那么在时间 $t_1=RC$ 时，电压将上升到 V_B［1-exp（-1）］，其值近似为 $0.63V_B$。然而，氖灯具有一个特性，这就是存在开路，直到它的两端电压达到一个确定值 V_1。在该值上气体就会电离，引起辉光放电，此时氖灯保持一个非常低的电阻——与 R 相比即为短路。因此，当 V_C 达到 V_1 时，电容就通过氖灯开始非常迅速地放电。处在电压 V_2 时，辉光不再能保持，氖灯又返回到开路状态，电容 C 又开始再次充电。这个过程是不断重复的，如图 46.7（b）所示，电压 V_C 以快速"回扫"的方式连续向上逐步扫描。在阴极射线管示波器中，这些扫描能够用作时基偏转，但具有非线性的缺点。究其原因，显然在于实际的速度，

1105

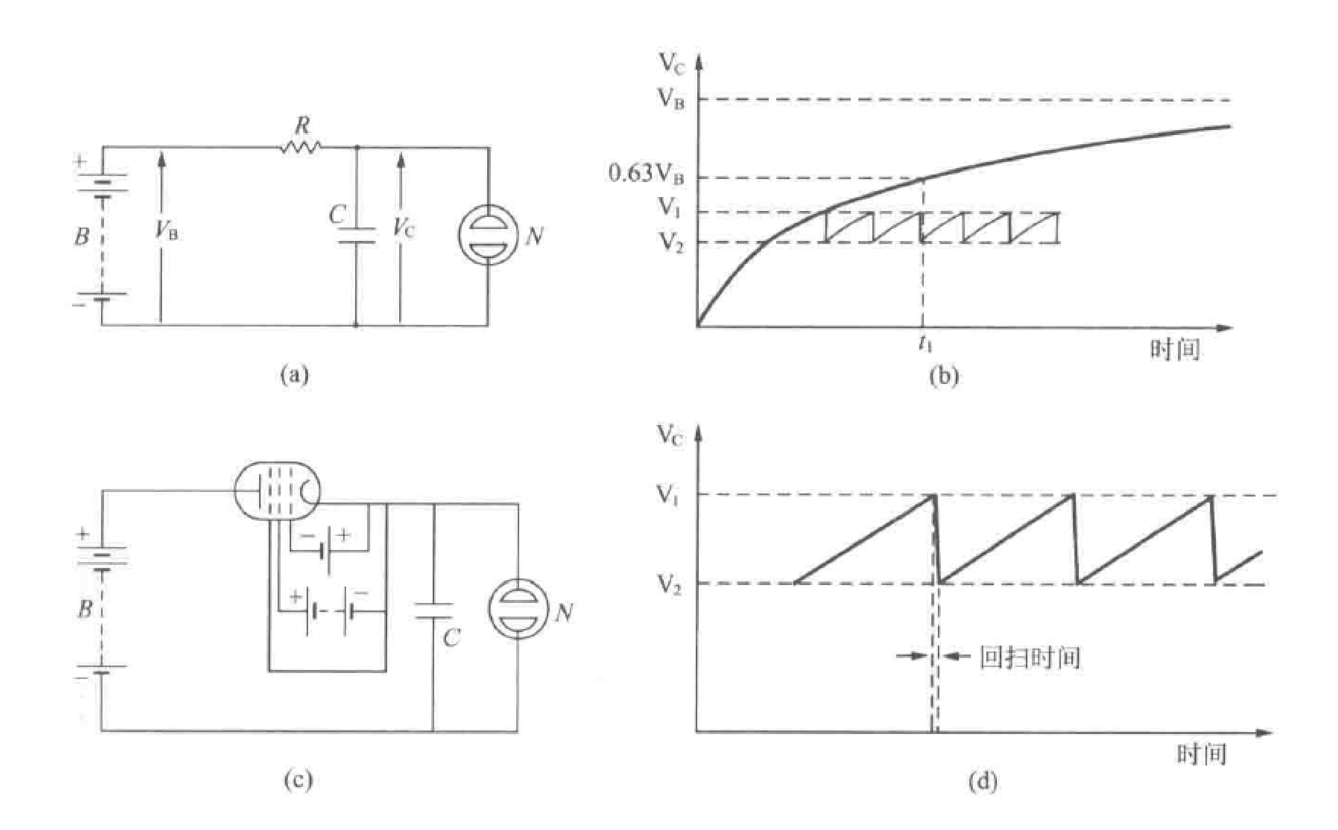


图 46.7 （a）简单的张弛振荡器的电路。
（b）随时间的变化。
（c）使用五极电子管，以便产生电压的线性扫描。
（d）具有五极电子管的电路扫描波形的扩展部分。
（关于符号见正文）

C以该速度充电是V_C的作用，因为R中的电流是由（V_B-V_C）/R所给定的，并且V_C与获得的电荷成正比。

从仪器和电视两方面用途来看，为了获得非常满意而明显的线性扫描，就必须使C以恒定的速度充电，也就是使充电电流不依赖V_C。1933年，贝德福德（L. H. Bedford，英国）利用五极电子管特性而发明了这种方法。图46.6（b）中典型的五极管曲线非常清楚地表明，对于固定的栅极电压，一旦阳极电压超出一定的水平，阳极电流就几乎不依赖于它。这正是所需要的。如果图46.7（a）中的R由如同图46.7（c）中所连接的五极管取代，那么就迫使C以实际上不受所获得电荷影响的速度来充电。至于扫描，则像图46.7（b）中所显示的那样。

46.2 利用电子发射的其他器件

光电器件 当埃尔斯特和盖特尔研究光电发射时，早期发现是两种碱金属（钠和钾）在真空中对可见光谱较短波长的光波有良好的响应。截至1920年，其他碱金属的响应也被测得，而且扩大到铯和铷那些对较长波长的光波产生响应的碱金属。这些成果（见图46.8）刺激了光电发射元件的发展。一些最普通的类型使用了银表面覆盖铯（局部氧化）的光阴极，能对全部可见光谱和进入近红外区的光谱产生响应。具有抵达10伏的阳极电压的简单真空光电二极管，对入射辐射具有微小的延迟响应。它们的灵敏度能够通过在低压下惰性气体的供给，以及利用较高电压（100伏量级）而提高至10倍，但这要以响应速度相当大的衰减为代价。

为了在速度几乎没有衰减的条件下增加灵敏度，兹沃里金（V. K. Zworykin）、莫顿（G. A. Morton）和沃尔特（L. Walter）[13]在1936年研制出了光电倍增器。在光电倍增器内部，把由光电阴极发射的一次电子朝第一阳极（在这里称为倍增管电极）加速，这一阳极的表面则专

门配制成能使二次电子的发射达到最大值。二次电子同样也朝较高电压下的第二倍增管电极加速，在那里就发生了电流的第二次倍增。在末级阳极收集输出电流之前，可包含多达10个这样的倍增管电极，输出电流可达起始值的1万倍（在现代的一些类型中，甚至为百万倍）。

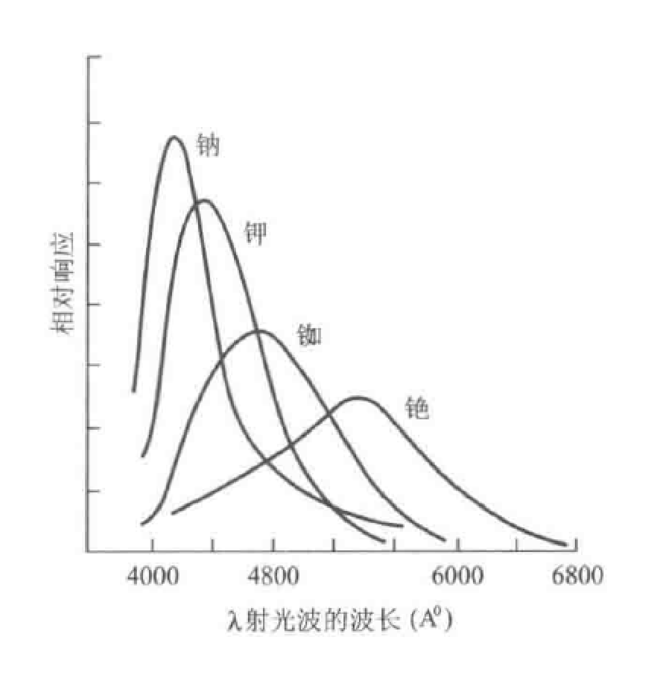


图 46.8　一些碱金属的光电发射响应。

1106

一种较为重要的器件（光电摄像管）是由兹沃里金较早阐述并说明的（1929年）[14]。它是一个图像探测器，可以产生大于照射到光敏电极上的总有效光通量，能够使一个被照射景色的图像聚焦在这个电极上，该电极则被制成一个镶嵌光电元件，其中紧密地填塞着涂铯的银质小球。光照射到这些小球上，使它们通过电子的发射而失去成比例的电荷。用电视中如今所熟悉的方法，跨接电极一条线一条线地扫掠过直径为小球直径几倍的电子束。每个小球通过从电子束中提取的电子来恢复自己的电荷，如同电子束传给它一样。这样产生的一连串邻近电流脉冲的时序，由电极上的导电底板检测出来。光电摄像管及其一些早期发展，已经获得了日益增长的应用，成了光导摄像管、氧化铅（光导）摄像管以及1950年以后被广泛使用的其他电视机摄像管的前身。

阴极射线管　电子学的发展需要新的分析仪器，而且是一个能显示电信号波形的仪器，例如讲话声进入传声器时所产生的波形。早先是设法使用一些轻巧的记录头或检流计来满足这种需要，但响应速度和经恰当处理的信号带宽度都受到了严格的限制。布劳恩（F. Braun）关于偏转电子束的较早研究工作（1897年）[15]发现，仅仅这

种电子束具有高速入射所要求的忽略不计的惯性，并鼓励人们致力于设计一个合适的阴极射线管（c.r.t.）。在1900年以前，“阴极射线”这一术语就得到了广泛使用。它表示气体放电器的阴极在受到气体正离子轰击时发出的辐射（现在已知是电子流），只存在于阴极射线管和使用它的示波器的环境中，尽管现在再也没有人暗示它是气体放电。

1107

阴极射线管具有若干部分（见图46.9）。由热阴极组成的电子枪产生出电子束，用来控制电子束强度的“栅极”呈套筒形状，末端除有一个中心小孔外，其余均为封闭的。另外，第一阳极（A_1）也呈套筒状并具有隔板的终端。它为电子束提供初始加速度，并使电子束充分聚焦（到最后的荧光屏上），更大的加速度则由第二阳极（A_2）来提供。然后，电子束进入偏转部分，在那里分别引起水平和垂直偏转，方法是或用两个适当编绕的线圈产生磁力，或用两对板极（V和H）产生静电力。水平偏转通常是一个有规律的、重复的线性时基，垂直偏转则表示观测信号的振幅。偏转的电子束最后轰击发光的荧光屏，而荧光屏本质上是由电子束碰撞呈现荧光（一个瞬时效应）或磷光（具有一个为使用的材料所特有的、在几秒范围内的延迟）——或两者兼有——的荧光物质的细微粒薄层构成。早期的阴极射线管荧光屏（c.r.t.s）都使用硅酸锌（一种锌的硅酸盐，含有一种锰杂质），以适合黄色—绿色的发射，或用钙的钨酸盐产生更容易摄像的蓝色的发射。由于雷达系统的需要，引发人们改进以硅酸盐、硫化物和氟化物起主要作用的一些荧光屏材料。

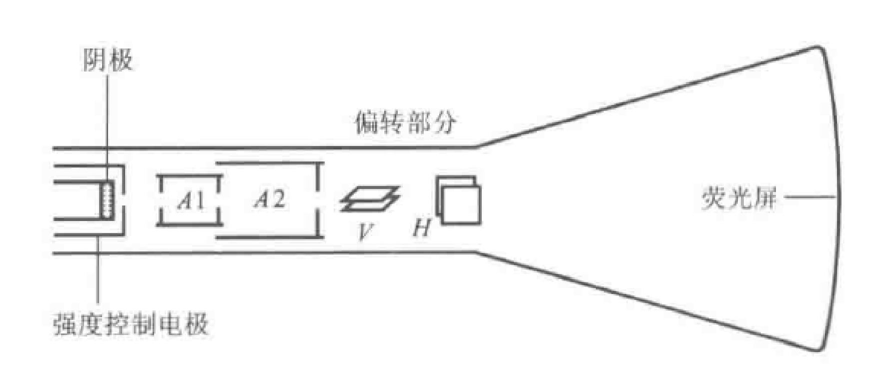


图46.9　具有静电聚焦和偏转的阴极射线管。

微波器件 虽然一般的热阴极电子管满足了早期雷达系统的需要，但很快就出现了对微波频率下的高峰值功率的需要，每毫秒大约需要 1 微秒，而这些是电子管所不能提供的。1921 年，赫尔（A. W. Hull）利用磁场与阴极和阳极间电场的相互垂直，首先研究了作为小功率二极管的磁控管。在第二次世界大战的头几年，兰德尔（J. T. Randall）和布特（H. A. Boot）大量开发了这种磁控管，它的极限能力是能以 3000 兆赫的频率传送 100 千瓦以上的峰值功率。在这种器件中，发射的电子在两个场的影响下，穿过靠近的、组成阳极的铜片中的一系列空腔（见图 46.10）。与结构剩余部分在一起的那些空腔，具有以微波振荡频率来进行共振所需的尺寸。在高能电子流和空腔中产生的场之间存在着复杂的相互作用，因而人们可以得到微波功率。通过细导线把阳极的交流部分互连起来，就能改进其性能。

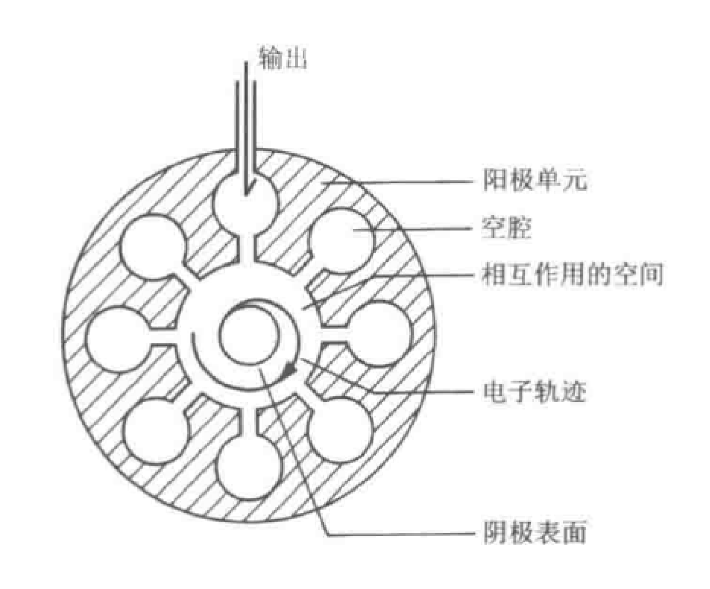


图 46.10 腔式磁控管的截面（应用的磁场是从纸面射出的）。

另一个有前途的微波功率源是速调管，这项研究开始于 1929 年，并在 20 世纪 30 年代末期重新开始。虽然大功率装置在 1950 年以后才成功地研制出来，但是作为大功率源的磁控管的发展，趋向于对小功率应用的速调管的作用加以限制，例如在雷达接收机中作为一个局部振荡器。在速调管中，使一个已经在三极管部分加速了的宽射束，依次穿过输入空腔（称为聚束器）、无场空间和输出空腔（称为收集极）直到集电极，这两个空腔以同样的频率共振。输入空腔之所以叫聚束器，是因为对于每个振荡周期内的某一时间间隔，以及在那个时间间隔内同时进入的电子，它的电磁场阻止着电子过早

进入，并加速那些较迟进入的电子。当电子束穿过无场空间时，实际的聚束就变得更明显。在收集极中，电子聚束流激发一个电磁场，电磁场则能从电子束中提取比在聚束器中大得多的功率，两个场适当地耦合在一起，就可以产生在共振频率条件下的振荡和可提取的功率。这个电子流的速度调制原理，提供了一些类似磁控管利用正交场操作带来的优点，并产生了许多速调管的设计。一个值得注意的例子是，反射速调管的一个空腔不但是聚束器，也是收集极，被反射的电子束在其第一次由称为反射极的负压电极穿过空腔后，就要通过这个空腔返回。

1109

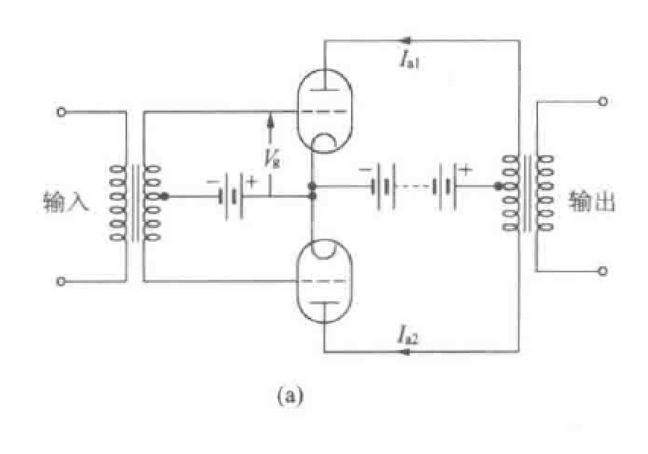
46.3 非线性和调制器

显然，许多电子元件——即使不是大部分——都有一些参数，它们取决于施加信号的振幅，因为对激励信号的响应曲线不是一些直线，即它们是非线性的。例如，热阴极电子管较好地表现出这一点。根据有关三极管中阳极电流与栅极电压间典型的非线性特征曲线［见图 46.3(c)］，可以很容易看到，互导 $\partial I_a/\partial V_g$ 对于不同的栅偏压是不同的，时而可利用，时而又是不良的效应。三极管作为放大检波的早期使用，使这一效应达到最大值，用于整流信号。在早期的电话和其他音频放大器中，人们认识到在寄生频率分量(即谐波及相互调制的产物)形式下失真的产生，所以通过栅偏压的适当选择来使这一效应减到最小值。大约在 1930 年以后，则是用补偿器装置来实现，例如“推挽”电路。在这一电路中使用了两个电子管，以补偿偶次失真，如图 46.11 所示。

在无线电话中，必须用语音波形来调制载波的振幅，这就是调幅

1110

(A.M.)。实现它的一个好方法是利用三极电子管的非线性。在 20 世纪初的一些实验中，曾把碳粒传声器直接用于天线电路中。随着声压变化而变化的电阻，通过在传声器电阻中所吸收天线功率的变化比例



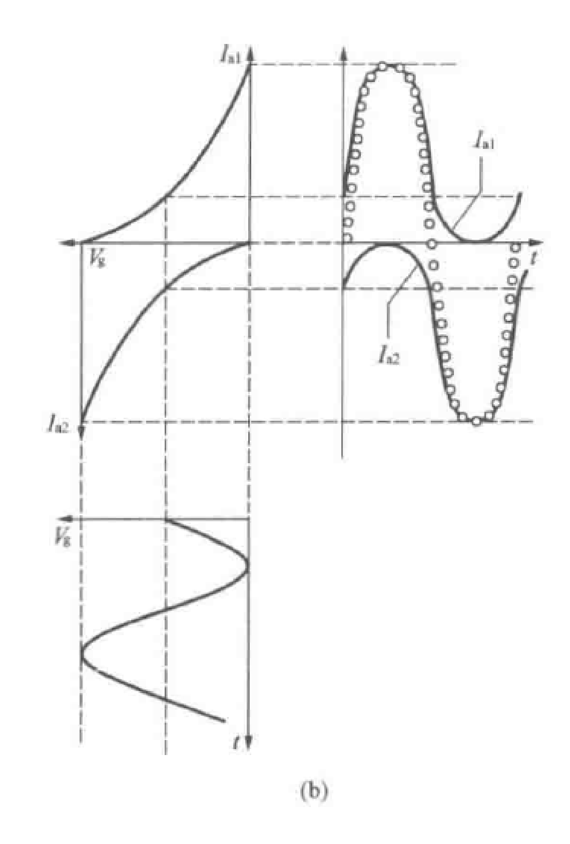


图 46.11　推挽放大器。
（a）电路结构图。（b）工作的曲线图。
输出结果显示如何获得对称波形。

来调制瞬时的传输功率。然而，传声器不能吸收大量的功率。因此，虽然带有较大功率发报机的无线电话较迟投入使用，三极电子管却已经用作调制电阻，图 46.12 就显示了这样一个装置。实际上，这取决于三极管的内阻 $\partial V_a/\partial I_a$，它明显依赖于栅极电压。其他的早期调制方法包含用语音信号加到电子管的栅极上，对三极电子管振荡器中振荡的振幅进行直接的调制。在这些早期的调制器中存在着大量的失真，但是改进的电路迅速得到开发。尽管并不广泛，使用饱和铁芯电感器的调制器也得以应用。

在载波电话系统（起初在有线线路，后来也在无线通信线路内）和通常单边带系统（第 50 章）中，不同类型的调制器在 20 世纪 30 年代才被使用。这是建立在当时氧化铜型的固态整流器基础上的。原则上，热阴极二极管当时已经可以使用了。后来，锗和硅整流器

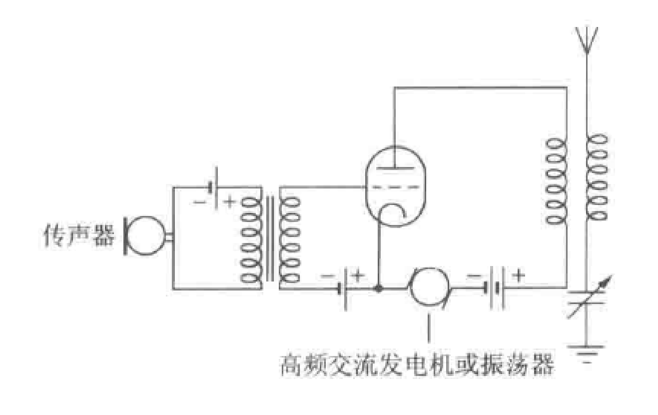


图 46.12　在无线电发报机中，用作调制器的三极管。

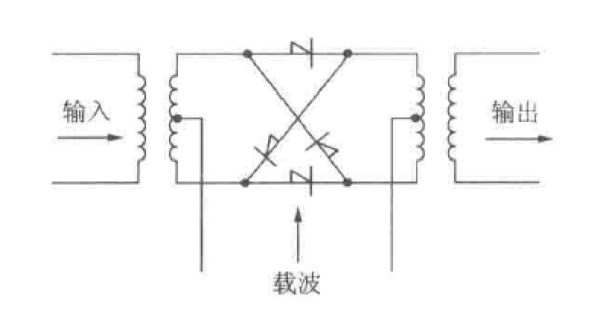


图 46.13　一个使用固态整流器的“环形”调制器。

从 20 世纪 40 年代起也都得到使用。已经有了许多不同的电路装置，但使用得最广泛的一种是图 46.13 中所显示的“环形”调制器。之所以这样称呼，是因为所指的整流器绕成了一个环形。假如每个整流器均是一个理想的开关，加负电压断开，加正电压闭合，这样就使电路的运行得到非常有效的描述。因为载波电压相对高于输入信号电压，所以控制着“开关”，从而在每个载波周期中两次反转信号的极性。于是，输出的是包含调制信号的边带，而不是载波本身。这类整流器式的调制器，曾经应用于数百万电话系统和许多其他电子系统中。

1111

调频（F.M.）作为一个概念存在很久，在 20 世纪 30 年代末期成了一个十分重要的用法[16]，原理是用调制载波频率而不是调制振幅的方法来携载信号信息。为了实现它，一种方法是在载波振荡器的调谐电路两端连上一个被称为“电子管电抗器”的电路（图 46.14）。这一电路在接线柱 I、I′ 之间产生一个有效电容，它是由两个元件 C_1 组成的，加上另一个大约等于 R_1C_1 的乘积乘上电子管的互导。用适当的偏压施加到栅极电路上的调制信号，调制着互导，并调制 I、I′ 两端的有效电容。由于这是被连接在载波振荡器的调谐电路两端，所以根据后者产生的频率由信号来进行调制。在接收机中，把调频波施加到一个具有随频率而急剧变化的振幅响应的电路上，就把调

频转换成了调幅，而且能用常规方法检测出来。后来，开发了一些形成和检测调频信号的更复杂的方法。

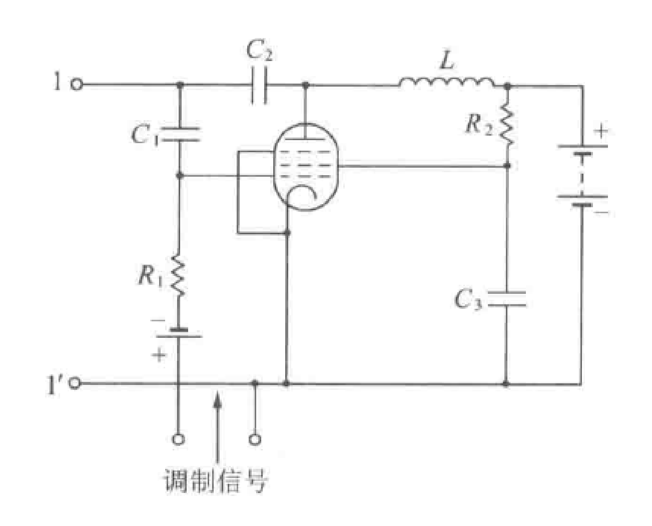


图 46.14　一个频率调制的电子管电抗器电路。L= 高频扼流圈；C_2= 耦合电容；C_3= 平滑电容；R_1= 和载波频率下 C_1 的电抗比较，为非常小的电阻；R_2= 相当高的电阻。

46.4　电路和系统理论

电子和通信工程的发展，曾经不仅依赖于适当的电子器件和无源元件的提供，也许还更加依赖于电路（或“网络”）理论的进步，这一理论在20世纪前半叶的末期开始迅速地扩展成为系统理论。直到20世纪20年代，通信中的许多设计工作，都是建立在经验基础上，依赖于元件、器件的物理行为方面的知识。20世纪30年代到40年代的迅速发展，应当归功于数学系统表述在新的电路和系统的概念和设计中得到更普遍的使用，这一点是毋庸置疑的。

1112

电路和系统的理论非常深奥且数学化，它的历史只有用一些高度专业知识的术语才能得到正确表述。1962年，别列维奇（V. Belevitch）发表了此类著作中优秀的历史性作品[17]。在这里，我们必须满足于用一些主要的术语和基本的例子来叙述，可以把历史分为4个发展阶段：

（ⅰ）单个的电路元件和元件简单组合特性的数学陈述。

（ⅱ）复杂电路结构特性的公式化，其中元件的每个简单组合都由数学上定义的阻抗函数或导纳函数来表示。

（ⅲ）运用这种知识和特殊方法合成一个在给定允许极限范围内将具有规定特性的复杂电路。

（ⅳ）这些思想推广到一些系统，这些系统中的各个部分都是

复杂的电路，而且每一电路仅由一个定义其特征的数学函数来描述，这个数学函数定义的是其一对端点和其他端点之间外部可观察的特性。

元件的简单组合 基本的无源电路元件是电阻［R，欧（姆）］、电感［L，亨（利）］和电容［C，法（拉）］，以及三者的简单串联组合，这一组合展示在图 46.15（a）中。使用“无源”这一术语，是为了把这些元件和“有源”元件（例如电子管）区别开来。在有源元件中，电压和（或）电流源被想象在元件中工作（见下文）。

图 46.15（a）的 RLC 电路的微分方程是在 1853 年由威廉·汤姆孙（William Thomson）［后来的开尔文勋爵（Lord Kelvin）］首先建立起来的[18]。他注意到电容器（例如莱顿瓶）通过一个导体放电，导体具有电阻和一个他称为“电动式电容”的性质——电感。1868 年，麦克斯韦（J. Clerk Maxwell）用更特定的电路术语，用现代的符号重新表述了这个方程[19]：

$$E\sin\omega t = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + Ri + \frac{1}{C}\int i\mathrm{d}t,$$

1113

其中 i 是电流，$E\sin\omega t$ 为施加的电压。麦克斯韦指出，当 $\omega L=1/\omega C$ 时，电流将是最大值。然而，直到赫兹（他称为“共振”效应）和洛奇（Oliver Lodge）（他称为“谐振”效应）分别在 1887 年和 1890 年从事无线电研究工作之后，这样的知识才广泛应用于实践中。大约在这个时期，电力工程师们也意识到了 L 和 C 的效应，虽然他们感兴趣的是大量交流电源的较低频率。

早在 1882 年，范·里塞特贝格（F. van Rysselberghe，比利时）就使用电容和电感将工作在同一导体上的电话和电板通道分开，如图 46.15（b）所示——这是高通和低通滤波器对的先驱，并且在 1883 年，他使用了图 46.15（c）中所示的电路用于电板通路：这是一种在 20 世纪 20 年代广泛使用的低通滤波器。然而他并没有对这个电路进行

教学上的检验。

上面给出的方程以及关于更复杂电路的一切计算，都使用了1845年到1847年间由基尔霍夫(G. R. Kirchhoff)阐明的基本定律，即环绕一个闭合回路的电压降总计必定为零，并且同样适用于电流流入几个导体的交会点(即进入一个“结点”)。1873年，麦克斯韦推广了这些定律，以提供一个解决具有任何数目内联结点电路的方法。现在，麦克斯韦网络和结点方程，仍然是电路计算的基本方法。

1890年前后，亥维赛(O. Heaviside)采用了电路运算微积分的思想。用作阻抗计算的矢量(现称为“相位复矢量”)图，和j算子[数学上 $j=\sqrt{(-1)}$]，都在19世纪90年代得以采用。在1900年以前，电路计算的整个基础就已经存在和通用了。

1114

当热阳极三极电子管在放大器中普遍使用时，可以发现图46.15(d)中所显示的等效电路很有用，能在电路计算中表示它。在这里，μ 是放大因子 $\partial V_a/\partial V_g$，$R_a$ 为内阻。通过引入附加元件，就可以考虑栅极电路和极间电容。由于在这里存在一个固定电动势(e.m.f.)的电源，电子管就被称为一个“有源”电路元件。

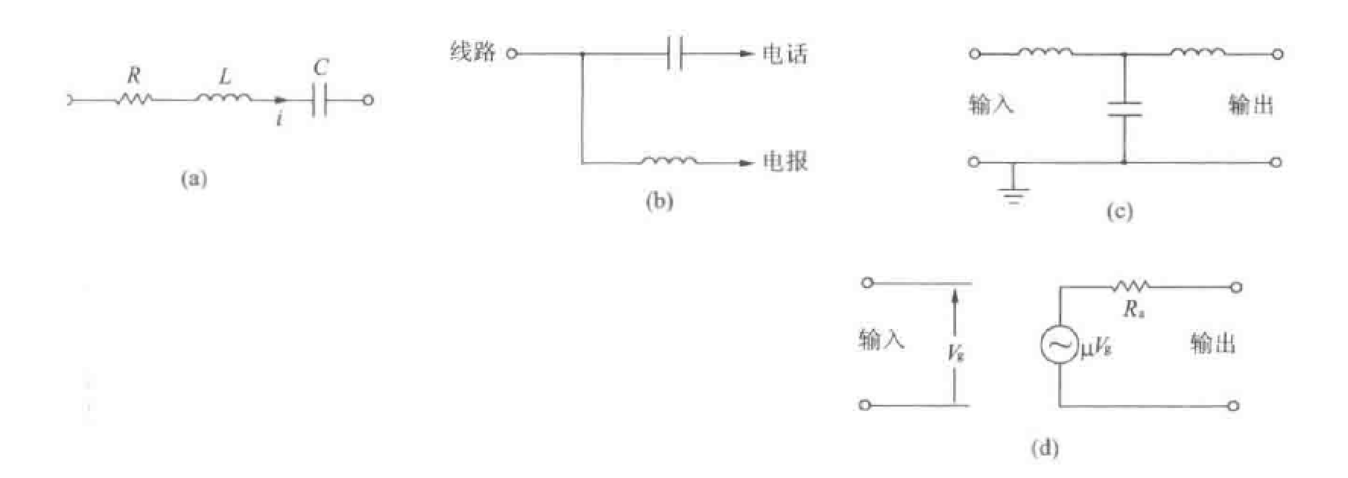


图46.15 (a)电阻、电感和电容串联的电路。
(b)1882年范·里塞特贝格的高、低频通道的分离电路。
(c)1883年范·里塞特贝格的低通滤波器。
(d)三极电子管的等效电路表示法。
(关于符号见正文)

复杂电路结构 电路理论第二阶段的开端，起始于美国坎贝尔（G. A. Campbell）和普平（M. I. Pupin），他们大约在 1900 年从事加感线路的研究[21]。从长途电报电缆诞生以来，关于电缆和线路的计算曾经建立在分布电阻和电容，以及后来的漏泄电导和电感的基础上。然而，在线路中加感线圈每隔一定间隔的采用，就把“集总”元件引入系统中，同时链形电路和网状组织［见图 46.16（a）］的想法也得到发展。这里 R、L、G 和 C 是集中到“集总”电路中线路的电阻、电感、漏泄电导和电容，代表一条给定的线路长度，从终端对（即“端对”）1，1′ 和 2，2′ 之间传输的观点看，图 46.16（b）“不平衡的”三通式（T 形）网络是等效的。同样，如果代表的长度非常小，那就是图 46.16（c）的 π 形网络。根据这个思想发展出图 46.16（d）、图 46.16（e）和 图 46.16（f）所示的广义网络。在那里，Z_1、Z_2 和 Z_3 都是数学上表示的阻抗函数。同样，它们也能是导纳函数 Y_1、Y_2 和 Y_3。

事实上，这些类型的网络（加上其他类型的网络）也能连接成一个链式电路。如果需要的话，每两个端对部分还可以有不同的响应，可以获得所规定的全部传输特性。它的一个非常重要的早期用途是应用在“电波滤波器”中。

电波滤波器作为一种形式上的网络结构，让一些频率（在“通带”中）的信号通过，把高损耗的部分补偿给其他部分（在“阻带”中），如图 46.16（g）所示。看上去，这一思想成果应当归功于 1915 年坎贝尔的工作[22]。上述网络结构形式的系统，在特征曲线上给出了一个非常大的调控度，系统则是建立在 T 形、π 形或 L 形部分交会点上的所谓“影像”阻抗匹配基础上，这是由佐贝尔（O. J. Zobel，美国）发明并在 1923 年发表的[23]。多年以来，佐贝尔滤波器系统已经广泛应用于载波电话系统。实际上，正如图 46.16（g）所示，突然断开电路是无法实现的，考厄（W. Cauer，德国）和其他人在 20 世

纪30年代初采用了最佳化通带和阻带响应的方法，致使达林顿（S. Darlington，美国）在1939年得出了网络形式上的数学合成，给出规定的特性[24]。

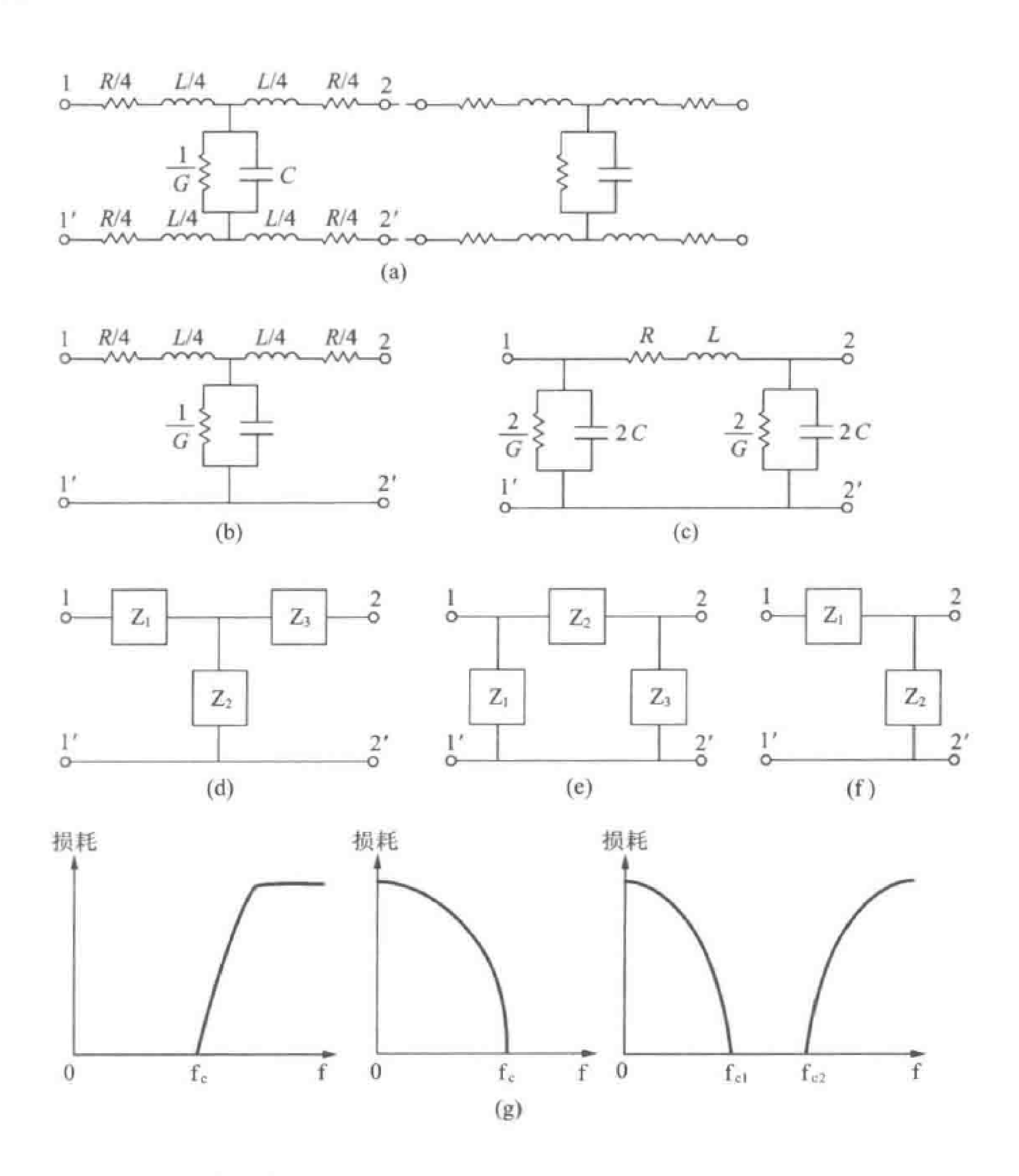


图46.16 复杂的电路结构和滤波器的发展。

（a）根据电缆或线路的表示法引申出来的链式“梯形”电路或网络。

（b）三通形即T形网络。

（c）π形网络。

（d）广义的三通式网络。

（e）广义π形网络。

（f）L形网络。

（g）低通、高通和带通滤波器的损耗/频率曲线（f_c是断路频率）。

（关于符号见正文）

当电子系统在频率方面扩展到微波领域(厘米波长，数千兆赫的频率)时，就必须把集总电路的概念推广到波的概念，包括波导、空腔共振器等。

随着脉冲和波形传输系统的采用，用振幅(或损耗或增益)与频率的关系曲线来定义和详述它的特性通常是不够的，时间响应必须予以考虑。在20世纪20年代到30年代，卡森(J. A. Carson)和吉耶曼(E. A. Guillemin)(均为美国人)以及其他人的工作为此奠定了基础。

1116

46.5 固态器件

在三极管和以后的形式中，热阴极电子管一直作为放大装置，直到结型晶体管得到发展才有了重要的竞争者。但是，二极管却一直面对金属整流器和晶体检波器的竞争，它们按照不同的几何形状加以区分，都利用了金属和半导体(电传导率介于金属和绝缘体之间的一类材料)之间的单方向导电。通常金属整流器属于电子工程，例如对蓄电池充电、电镀以及铜的精炼。晶体检波器最初特定使用于早期的无线电接收机，短暂的应用导致整流特性未能阐明。由于电子管无法令人满意地适用于后来的应用，需要更充分研究，从而催生出了晶体管。

金属整流器　格朗达尔(L. O. Grondahl)关于铜—氧化亚铜界面的研究(1926年)[25]与金属对氧化物(或硫化物)界面较早期的研究大不相同，导致了可重复生产的、稳定的整流器的出现。始于美国的研究成果是初级的，但它们都是以实验为基础的。大约1毫米厚的高纯铜圆盘，在大约1000摄氏度下被氧化，如果这一过程或者后续的退火，产生了氧化铜(CuO)的表面薄膜以及所需要的氧化亚铜 Cu_2O 层，那么就要用化学方法或机械方法把表面的薄层清除掉。与氧化层保持良好接触的第二(相反的)电极，是从铅垫片经由胶状石墨到被

溅射的金属逐渐形成的。电流容易流动的方向是从氧化物到铜。当外加电压超过大约10伏时，在另一方向上就无法理想地截止电流，所以许多应用需要一些串联起来的复合装置。强电流时使用的大面积元件还要插入冷却散热片，它们的应用与功率整流器、调制器以及简单的开关类似。

作为氧化铜整流器的一个竞争者，硒型整流器虽然很早就由弗里茨（Fritts，1883年）进行研究，才发展起来却是稍后时间的事情。在生产时，把完全粉末状的硒薄薄地涂敷在钢板或铝板上（对大型装置而言，更偏向其较好的热传导性），恰好在其熔点（217摄氏度）之下加热处理，就能把它变成所需要的晶体形式，并和金属片保持良好的电接触。然后，通过用低熔点的合金，例如用含有铅或锡的铋合金和镉合金，喷涂在露出的硒表面而配制出整流的交界面，也作为第二电极。由电流在不容易流动的方向上（从第二电极到金属板）通过，大大改进了整流性能。可用的最大反向电压虽然高于氧化铜型整流器，但在绝大多数情况下，还是无法避免堆垛的出现。

1117

晶体检波器　晶体检波器实质上是用大约1克的力，把具有尖端的细金属丝（称为触须线）柔韧地压在半导体的小晶体表面上（或一个多晶体片中）。为了达到这一要求，几种矿物（例如方铅矿）被用作合适的半导体。触须线作为一个电极，晶体的金属夹作为另一极，当使触须线尖端移动过晶体表面时，正向与反向传导率之比的变化是相当大的。一些早期的无线电接收机装置就考虑到要便于这样的移动，从而有可能寻找敏感点。遗憾的是，仪器的使用或受到冲击会迅速地损坏性能，进一步的研究很有必要。

后来，在第二次世界大战的雷达接收机中，主要是在“混频器”（调制器）而不是检波器的应用中，需要较易控制和更可靠的装置，各种努力都集中在作为半导体的低掺杂的硅以及钨或钼金属丝。虽

然有时把金属丝尖端轻度焊接到硅上，但经验性的研究让位于（相当少）能大量改进特性的实验选择。在击穿和永久性破坏发生以前，最大的可承受反向电压是低的。

元素锗类似于硅，是具有四价和相同（金刚石）结构的结晶，锗的点接触二极管自然引起了关注。由于可使用在许多电子管开关中，以及诸如早期电子数字计算机中所使用的逻辑电路里，因而生产较高的峰值反向电压的装置就有了可能。由于锗较低的熔点、简化的单晶体的制备以及较高的传导电子的迁移率，20 世纪 40 年代后期（实际上是 20 世纪 50 年代初期）对锗的研究比硅更多。这样，晶体管作用的发现就提前了，从而开创了电子设备的新时代。

晶体管　为了获得放大或控制开关，科学家曾经长期考虑是否可能对固态整流器增加第三电极以调制电流—电压关系，或对半导体增加第三电极以调制传导率，同时达到放大或控制转换的目的。

1118

为此，1925 年、1927 年和 1928 年，利连费尔德（J. Lillienfeld）先后为 3 种不同的装置寻求专利。最值得注意的是第 3 种，这是类似 20 世纪 60 年代的金属—氧化物—硅晶体管（MOST）的一种绝缘栅的场效应器件。利连费尔德认为，硫化铜通过阳极氧化处理，可以和半导体绝缘的栅电极一样，成为带有铝箔的半导体。但是，他对此没有作出论证，而且当时也缺乏必要的材料技术。20 年以后，随着对硅和锗的点接触二极管的研究，在半导体的制备和性能方面均取得了很大的成就。人们已经确定半导体能以两种方式中的一种进行电传导，其一是由“自由电子”（在晶体中，那些需要和原子结合在一起的电子的余额通常会出现在已掺入五价杂质的硅和锗中）导电，那时它就被标明为 *n* 型（“*n*” 代表是负的），其二是由“空穴”（束缚电子的不足额，如果已掺进三价的杂质，就会正常地呈现这种现象）导电，那时它就被标明为 *p* 型（“*p*” 代表是正的）。就像充入正电荷一样，空穴确实地受到电场的控制。虽然在金属和半导体

的接触处，势垒的一些特性对电流流量不是完全可以预测的，对于另一极性来说，当施加一种极性的电压并且增大时，会使势垒降低。但在一个晶体中的整个 n 区和 p 区之间的接合处，有效整流的可能性就显示出来了。

在贝尔电话实验室（Bell Telephone Laboratories）里，以相关的理论研究为依据的一系列实验揭示和说明了一些新发现。1947 年，巴丁（J. Bardeen）和布拉顿（W. H. Brattain）用一根辅助触须线来探查 n 型锗的表面，n 型锗接近（在 0.1 毫米内）载有正偏流（I_E）的一个触须线的接触点。他们发现当辅助触须线是反偏的，它就通过一个异常大的电流（I_C），该电流与 I_E 接近正比[26]。实际上，dI_C/dI_E 能大于 1。但最重要的是，第 1 正偏接触产生低阻抗，第 2 反偏接触产生高阻抗，从而能够获得功率增益。所以，这里是一种被称为点接触晶体管的固态放大装置［图 46.17（a）］。对它的电子行为可做如下解释——第 1 点接触（发射极）把空穴注射到 n 型锗（基极）中；在第 2 点接触（集电极）的电压影响下，尽管基极中的自由电子存在量没有减少，但大多数空穴仍然移动到那个电极。至今人们依然认为，那里存在着的自由电子能够立即破坏空穴，也就是说要弥补约束（价）电子中出现的不足额（空穴）。至于集电极中的电流增益，已经被证明是次要的。

受到同伴的发现启发，肖克利（W. Shockley）提出了结型晶体管的设想。在这种晶体管中，一片单晶半导体包含有 3 个区（发射极、基极和集电极），相应为 n、p 和 n 型[27]。他预言了这一晶体管极有可能的电子行为，即来自 n 型发射极的电子发射到 p 型基极中，并且扩散到集电极。接下来，制造器件成为一个棘手的任务。乔赫拉尔斯基（Czochralski）技术用来从保持在凝固点附近状态的熔体拉制单晶棒，通过修改这项技术发展设备，结型晶体管的制造在 1950 年获得了成功［肖克利、斯帕克斯（M. Sparks）和蒂尔（G. K. Teal）］[28]。这一般

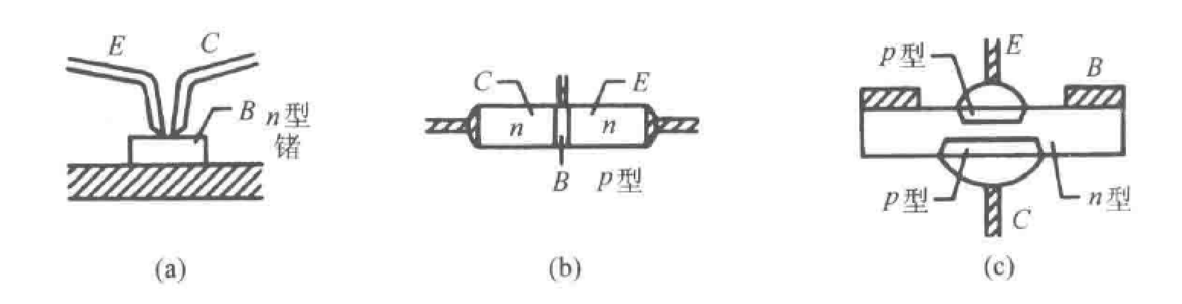


图 46.17 最早的晶体管。
（a）点接触。
（b）锗 *n-p-n* 生长结。
（c）锗 *p-n-p* 合金型。
E= 发射极；*B*= 基极；*C*= 集电板；画阴影线的区域是金属连接。

是把籽晶浸入 *n* 型熔锗中，在逐渐生长出几毫米的固体之后，通过追加适当杂质使熔化物全部掺杂成 *p* 型。当产生的追加长度达到 0.05 毫米时，再沿相反方向把熔体全部掺杂，从而使它又转变成 *n* 型，并进一步生长出少量的长度。这一结晶块沿长度方向上切割成棒形，每个棒都包含有 3 个区（*n* 型集电极、*p* 型基极和 *n* 型发射极），每个区都用导线连接［图 46.17（b）］。成熟的结型晶体管的特性，完全证实了肖克利的预言。这一器件可以重复生产，表现出比迅速失去支持的点接触晶体管有更高的功率增益。当劳（R. R. Law）[29] 和萨比（J. S. Saby）[30] 在 1952 年各自独立研究出一种方法，使结型晶体管能够很好地适合于大规模生产时，情况更是如此。他们着手使用厚度大约为 0.1 毫米的 *n* 型锗的小薄片，并将低熔点三价元素铟的小球对熔合于表面对，从而形成了 *p-n-p* 结构［见图 46.17（c）］，触点的形成则是直接的。

虽然早期的结型晶体管的良好性能基本上限制在低于 100 千赫的频率下，电特征却是简单的，电路设计者们几乎未遇到什么难题。它们经常被用于输入信号施加到发射极并从集电极获得输出（由于基极接地），或者让输入施加到基极，同时从集电极（由于发射极接地）或发射极（由于集电极接地）输出。它们在低功率开关和逻辑元

1120

件中的潜力，很快在许多方面得到应用。

进一步的改进集中在减少基极的宽度上，主要因素是限制频带宽度，从0.025毫米减到0.001毫米，甚至更少。为了能够制造出类似的设备，人们的改进还集中在加工处理硅的方法上，得益于硅器件中固有的较小漏泄电流，以及它们在较高的环境温度下比锗的对应物有较好的性能。但是硅的优势同样来源于极好的电特性，它的由热产生的氧化物（透明的氧化硅）在化学上的钝化特性，以及能用平面技术进行宽带器件的大批量生产。然而，那都属于20世纪后半叶的事了。

46.6 无源元件

电子线路中应用最普遍的无源元件是电阻器、电容器、电感器和变压器。到1900年，已经能制造出所有这4种可用的样品。电子工程是从使用同样通用的设计开始的，在1920年前后出现对一些特殊方面进行改进的要求后，与之相对应的研究和开发通常都卓有成效。

电阻器 导体的电阻（R）依赖于它的几何尺寸及其材料的电阻率（ρ）。当导线的长度为L、横截面积为A时，那么电阻$R=\rho L/A$。电子工程要求电阻器具有的R在大约10—10^6欧的范围内，它们还必须具有消散因电流流过而产生的热的能力，以及小的电阻温度系数和规定的电阻容差。

至1900年，金属丝和炭质的两种电阻器都是通用的。对于前者来说，纯金属一般具有太低的电阻率和太高的温度系数（一般为4000×10^{-6}/摄氏度），于是人们研制出了更具合适价值的合金。德银（铜、锌和镍合金）和康铜（铜和镍合金）具有的电阻率相当于铜的20倍左右，温度系数则大约为铜的1/20，锰铜（铜、锰和镍合金）在20摄氏度的温度系数则小于20×10^{-6}/摄氏度，这类金属丝均缠绕在一个绕线架上。但是，即使最好的设计也得有足够的自身电容或自感，以便破坏频率大于约1兆赫时的性能。炭质电阻器大大扩大了频率

范围，使高电阻值（例如1兆欧）容易产生，而且价格低廉，只是被证明无法按照高精度公差来制造，它们的温度系数大且为负值，一般为 -1000×10^{-6}/摄氏度。就限于特殊用途的金属丝型的电阻来说，到1930年已经大批量生产。

1928年在德国研制出的碳膜电阻器代表了一种主要的进展，此后又发现了它的许多用途。通过碳氢化合物的热分解作用，使这种碳膜淀积在陶瓷棒上，并把细螺纹线刻于其中，以加工成实际上是碳膜的长狭条。标称值的公差能够比 ±1% 更精确，温度系数一般为 -250×10^{-6}/摄氏度。

热敏电阻器（即对温度具有显著灵敏度的电阻器，适于做温度敏感元件、调节元件等）是在1950年以前研制出来的，使用了锰和镍的氧化物。

对小型可变电阻器和电位器不断有各种需求，例如用作无线电接收机的音量控制。在圆形的成形器上，有一个连接在可旋转中心轴上的滑动接触器的金属丝型和碳膜型电阻器，一般都能满足需要。

电容器　电路对不连续电容量（约1950年才称为电容量）的需要，通过由莱顿瓶（1745年）发展而来的电容器（以前称为调相器）才得到满足。19世纪后期，已经有了更小巧的电容器。但是，本质上所有电容器都是由一对相互平行的导电金属板组成，金属板通过具有适当电介质特性的气态的、液态的或更通常为固态的物质所充满的绝缘间隙分隔开的。电容量（C）与金属板的面积接近正比，与金属板之间的间距成反比，并且与电介质的介电常数（k，19世纪时被称为特殊的感应电容，后来则称为介电常数）成正比。

最初，工业上重要的电介质是浸渍式蜡纸（对于纸来说，k=1.2；但对于蜡纸来说，k=3）。电容能够由一条锡箔、两张纸，另外再加一条锡箔和两张纸，全都卷在一起组成，从而制造成一个非常小巧的、具有高达10微法电容量的元件，能够直接承受100伏或100伏以上

的电压。

电容器的介质损耗，使它在阻抗中引进了一个电阻分量。虽然大多数应用中可以使用纸型电容器，但要能获得较低的损耗和较小的尺寸——在较大费用的条件下，就要用云母作为电介质（$k≈6$）。其他材料也得到应用，20 世纪 40 年代以使用金红石（TiO_2）和一些具有 $k≈100$ 的钛酸盐而达到顶峰。

在需要体积小、电容量大（例如 25 微法）的地方，是不必要求精确或低损耗的（例如在平稳供电中），干式铝电解电容成为重要的一种应用。这种电解电容从较早的湿型（1892 年已得到论证）改进而来，一条浸透了（通常是如此）硼酸盐的材料被夹在阳极氧化的铝箔和普通箔之间。这种电容两端的电压必须有规定的极性。

无线电接收机的调谐可变电容，几乎总是由一组固定叶片与可转动的凸轮状叶片交织组成，并用空气作为电介质（图 46.18）。

电感器和变压器 电感器本质上是一个铜线紧紧缠绕而成的线圈，它的电感（L）与面积和圈数的平方都成正比。当线圈全部插入磁导率为 μ 的材料，L 就增加了 μ 倍。在实际应用中，用磁心来装填线圈的横截面并形成它自身的回路，几乎可以得到同样的增大。空心线圈在早期的无线电接收机中得到采用，但近来仅在高频率下才受到欢迎。

1123

变压器具有不止一个线圈，在结构上类似于电感器，可以对连接到各个线圈上的电路间的阻抗、电压和电流进行变换。

1900 年到 1950 年间，缠绕线圈除了实现机械化以外，几乎没有什么变化，电感器和变压器的发展主要集中在改进磁芯材料上。

1900 年，供电工业已经为变压器找到了比软铁更好的材料，哈德菲尔德（R. A. Hadfield）曾经开创了用铁和百分之几的硅组成合金的方法。大批材料的生产开始于 1903 年，几年之后就采用彼此之间具有薄绝缘的铁芯片堆，这样可以大大减少磁芯中由涡流而引起

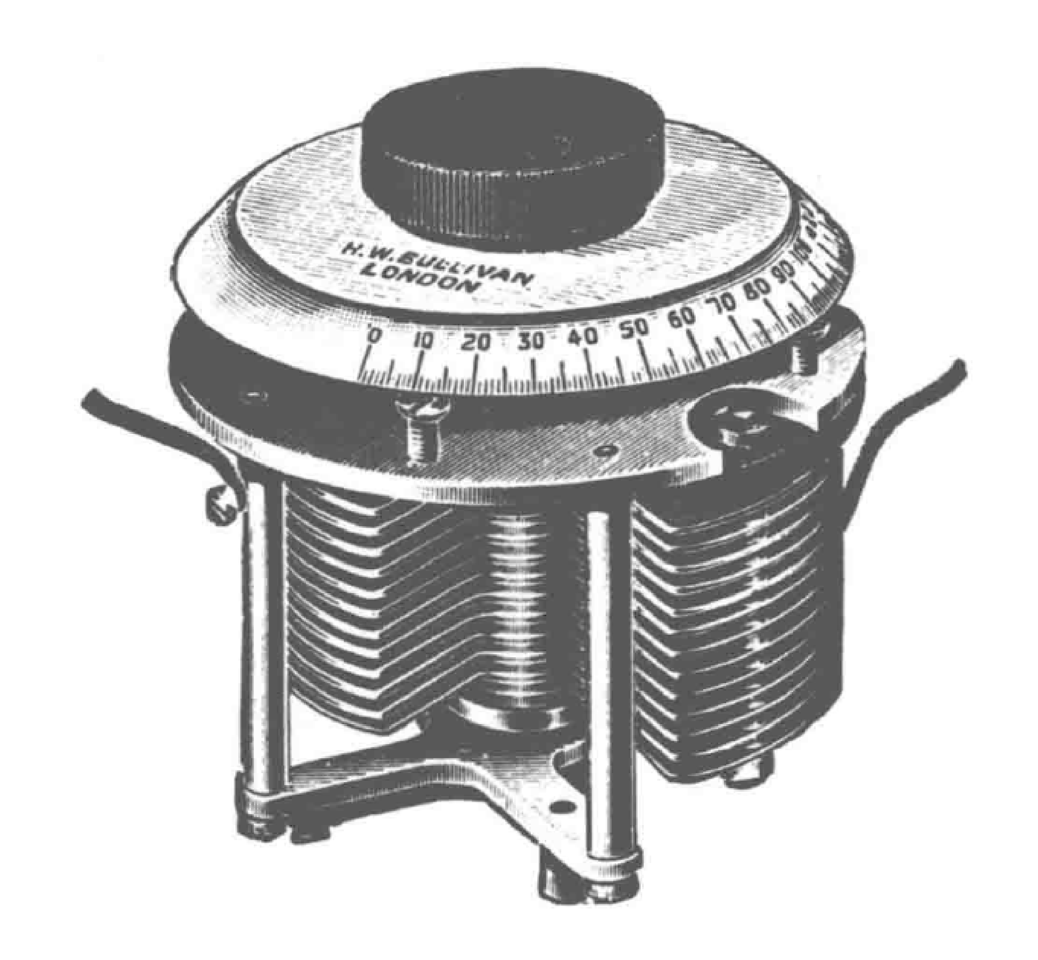


图 46.18　大约 1920 年的一个连续可变的空气式电容器（那个时期称为容电器）。

的能耗。

电子设备中的电源变压器和平滑电感器（俗称“扼流圈”）使用了这类合金（$\mu\approx5000$），但处理信号频率的元件还在寻求更高 μ 值的材料。1917 年，埃尔门（G. W. Elmen）指出了镍（80%）和铁（20%）合金的前景[31]。用增加少量其他金属的办法，研制出了若干种合金，镍铁高导磁合金和坡莫合金都呈现出高达 10 万的 μ 值，所有这些都得到了广泛使用。但是，即使使用厚度减小到 0.025 毫米的铁芯片，在较高的无线电频率下，它们的涡流损耗也不能令人满意。因此，人们的注意力又转向了对铁或镍铁混合物的绝缘颗粒（其尺寸要用微米来测量）的使用，它们被压缩在一起加以烧制，形成“粉末”铁芯。尽管磁导率大量减小，这些新材料还是在 1920 年左右得到了使用。1935 年前后，铁氧体的磁特性——希尔珀特（S. Hilpert）在 1909 年

第一个就此提交了报告[32]——被重新检查，取得显著成功，铁氧体投入生产并应用于许多方面。铁氧体的一般结构式为 $MO.Fe_2O_3$，这里的 M 代表一个二价元素。在镍的铁氧体（$NiFe_2O_4$），以及在锌锰铁氧体（$ZnMnFe_4O_8$）中，M 也可代表两个二价元素。它们都是绝缘体，使涡流损耗减至最小值，各种混合物还提供了一个大约可达 1000 的 μ 值范围。粉末和铁氧体两种铁芯通常被做成环状，因此需要把线圈直接缠绕到它们上面，而不是缠在绕线管或更早的与铁芯相符的绕线架上。

1124

相关文献

[1] Guthrie, F. *Philosophical Magazine* (4th series) **46**, 257, 1873.
[2] Anon. *Engineering*, **38**, 553, 1884.
[3] Thomson, J. J. *Philosophical Magazine* (5th series), **44**, 293, 1897.
[4] Richardson, O. W. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, **11**, 286, 1901.
[5] Wehnelt, A. *Annalen der Physik*, **14**, 425, 1904.
[6] Fleming, J. A. British Patent 24 850 ; 1904.
[7] De Forest, L. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, **25**, 735, 1906.
[8] Armstrong, E. H. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, **3**, 215, 1915.
[9] Tucker, D. G. *Radio and Electronic Engineer*, **42**, 69, 1972.
[10] Hazeltine, L. A. *Proceedings of the Radio Club of America*, **2**, No. 8, 1923.
[11] Schottky, W. *Archiv für Elektrotechnik*, **8**, 1 and 299, 1919.
[12] Holst, G. and Tellegen, B. D. H. U.S. Patent 1 945 040 ; filed 1927.
[13] Zworykin, V.K., Morton, G. A., and Walter, L. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, **24**, 251, 1936.
[14] Zworykin, V. K. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, **22**, 16, 1934.
[15] Braun, F. *Annalen der Physik*, **60**, 552, 1897.
[16] Tucker, D. G. *Radio and Electronic Engineer*, **40**, 33, 1970.
[17] Belevitch, V. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, **50**, 848, 1962.
[18] Thomson, W. *Philosophical Magazine*, **5**, 393, 1853.
[19] Maxwell, J. C. *Philosophical Magazine*, **35**, 360, 1868.
[20] Van Rysselberghe, F. British Patents 2466, 1882 ; and 5503, 1883.
[21] Brittain, J. E. *Technology and Culture*, **11**, 36, 1970.
[22] Campbell, G.A. U.S. Patents 1 227 113 and 1 227 114 ; filed 1915.
[23] Zobel, O.J. *Bell System Technical Journal*, **2**, 1, 1923.
[24] Darlington, S. *Journal of Mathematics and Physics*, **18**, 257, 1939.
[25] Grondahl, L. O. *Physical Review*, **27**, 813, 1926.
[26] Bardeen, J. and Brattain, W. H. *Physical Review*, **74**, 230, 1948.
[27] Shockley, W. *Bell System Technical Journal*, **28**, 435, 1949.
[28] Shockley, W., Sparks, M., and Teal, G. K. *Physical Review*, **83**, 151, 1951.
[29] Law, R. R. *Proceedings of the Insitute of Radio Engineers*, **40**, 1352, 1952.
[30] Saby, J. S. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, **40**, 1358, 1952.
[31] Elmen, G. W. Canadian Patent 180 539 ; filed 1916.
[32] Snoek, J. L. *Philips Technical Review*, **8**, 353, 1946.

参考书目

Cruft Laboratory, Harvard University. *Electronic circuits and tubes.* McGraw-Hill, New York. 1947.
Fleming, J.A. *The thermionic valve.* Wireless Press, London. 1919.
Guillemin, E. A. *Communication networks.* Wiley, New York. 1935.
Heaviside, O. *Electrical papers.* Macmillan, London. 1892.
Latham, R., King, A. H., and Rushforth, L. *The magnetron.* Chapman and Hall, London. 1952.
Lubszynski, H. G. Photocells for the visible and ultra-violet, in *Electronics* (ed. B. Lovell), pp. 53–95. Pilot Press, London. 1947.

1125

Maxwell, J. C. *Electricity and magnetism.* Oxford University Press. 1873.
Reich, H.J. *Theory and applications of electron tubes.* McGraw-Hill, New York. 1939.

Round, H.J. *The shielded four-electrode valve.* Cassell and Bernard Jones, London. 1927.

Say, M. G. (ed.) . *Cathode-ray tubes.* Newnes, London. 1954.

Scott-Taggart, J. *Wireless vacuum tubes.* Radio Press, London. 1922.

Shive, J. N. *The properties, physics and design of semiconductor devices.* Van Nostrand, New York. 1959.

Shockley, W. *Electrons and holes in semiconductors.* Van Nostrand, Princeton. 1950.

Terman, F. E. *Radio engineers' handbook.* McGraw-Hill, New York. 1943.

Torrey, H. C. and Whitmer, C. A. *Crystal rectifiers.* McGraw-Hill, New York. 1948.

Tucker, D. G. *Modulators and frequency changers.* Macdonald, London. 1953.

Turner, L. B. *Wireless telegraphy and telephony.* Cambridge. 1921.

Zworykin, V. K. and Ramberg, E. G. *Photo-electricity.* Wiley, New York. 1930.

第47章 家用电器

G. B. L. 威尔逊（G. B. L. WILSON）

1126

我们现在所知的家用电器基本上是19世纪的产物。那时，铁和黄铜在人类历史上第一次得到了充足的供应，而且出现了大批工匠和发明者。在此以前，一般人的生活与许多世纪前他们祖先的生活相比，几乎没有差别。他们用砖在墙壁上砌出凹壁来烧柴火，用吊在柴火上的金属罐煮食物，把要用的水放在大锅里，同样放在柴火上加热。那时几乎没有家庭浴池，露天厕所只不过是在地上挖几个坑，或者在木凳下放几只桶。在物质享受方面，中世纪的人和18世纪末的人相差无几，两个时代的人所使用的锅、罐、火钳和挂锅钩都是一样的。

但在19世纪，随着煤炭的系统化开采和工业革命机器的出现（以及所有的工具及其所需的辅助设备），人们的注意力开始转向发明那些能改善原始低劣生活条件的设备，在又苦又累和人员密集的工厂里能节省劳力的设备，以及当食物和燃料不再从森林和田野采集而必须在商店里购买时，能够节省开支的设备。

除了少数家庭用具外，我们现在使用的几乎所有家庭用具也都是19世纪发明的，但是直到20世纪才得到充分的发展和利用。毕竟，早些时候有众多的家庭仆人来完成全部家务劳动。最先引起发明者注意的家庭设备是安装在客厅里的烧煤或木柴的敞开式壁炉，以及

厨房里的大型侧敞开式烘烤炉。它们非常浪费热量（大部分热量通过烟囱向上跑掉了），需要仆人不断地向炉内添加燃料才能很好地保持热度。后来成为朗福德伯爵（Count Rumford）的美国的社会科学家汤普森（Benjamin Thompson）做了大量改造工作，他对不经济的敞开式壁炉重新设计。在巨大的烟囱开口下面放一个燃烧煤的铁筐，在砖砌的凹处安装一个紧凑的铁栅栏，烟囱出口相对较小，这就是“朗福德伯爵壁炉”。他还修建了第一个厨房炉灶，用方砖砌成，煤火封闭在炉内，炉面是平的，上面可放罐和锅。这些壁炉和厨房炉灶设计科学，完全可以认定是最早的家庭用具，年代为1800年或者更早一点。当时，还有许多人也解决了室内煤炭燃烧效率的问题，特别是富兰克林（Benjamin Franklin），1745年的“富兰克林火炉”曾在美国得到广泛使用。有趣的是，在瑞士讲意大利语的泰桑地区，许多这种样式的火炉现在还在用着，仍然被称为“富兰克林火炉”。朗福德伯爵还发明了泡制式咖啡壶（与今天使用的咖啡壶几乎一样），以便为慕尼黑的居民提供一种替代饮料，巴伐利亚选帝侯马克西米利安一世（Maximilian I）当时正为臣民的酗酒而深感忧虑。

1127

应用自来水管道（罗马人曾使用过）和城市管道供水设备是19世纪的另一项成就。但是，直到真正的下水道和排水系统出现以后，才在盥洗室内全部使用上自来水（第Ⅳ卷，第15、16章；第Ⅴ卷，第23章）。到19世纪末，抽水马桶［哈林顿爵士（Sir John Harington）1596年已经发明，卡明斯（Cummings）和布拉默（J. Bramah）分别在1775年和1778年安装到富裕家庭后才进入普遍使用阶段］在大多数城市的住房里得到了普及。自1889年采用抽水马桶以来，家庭卫生设备几乎没有什么改进，设计仍然保持原样。

最初采用煤气时（1812年在伦敦使用），它仅被视为一种光源，改变了所有城镇居民的生活和工作条件。作为热源，煤气用于烹调和取暖则出现得较晚（第Ⅳ卷，边码273—274）。煤气炊具、热水器和

煤气取暖炉，都是19世纪家庭用具的杰出范例。

尽管大多数家用电器都在英国发明，其余极少数在欧洲大陆，它们却都在美国得到了较迅速的发展。重要原因在于英国和欧洲大陆有廉价的煤和家务劳动力供应，对家庭用具的需求不像美国那样迫切。在19世纪的美国，开拓者们整天忙于建筑、狩猎、采矿和勘探等，很少有时间追求生活的舒适。人们积极采用能减轻家庭洗涤、清扫和烧热水（甚至清洗碗碟和苹果削皮）等劳动的任何措施，并加以充分利用。正如吉迪恩（Siegfried Giedion）所描述的那样："在英国，仆人是一个阶层和一种职业。"然而，在美国除了黑人以外，他们决不存在。

1128

47.1 电的使用

19世纪的最后20年，电力作为公共设施已经被采用，在家用方面进展却十分缓慢，因为它是一种昂贵的能量形式，并且许多家庭没有供应设施。此外，煤气非常牢固地占领了照明、加热和烹调等领域，并且强有力地抵制着任何竞争。煤气凭借自己的优势在20世纪成为必需品，得到充分应用。

1882年，英国通过了第一个《电照明法案》(*Electric Lighting Acts*)。10年以后，电与煤气的竞争才揭开了序幕。在最初的几年里，人们几乎只打算把电用于照明，因为用电照明有一个明显的优点，能够很容易地接通和断开。那时，煤气照明用的是平面火焰喷灯，这种灯几乎可与后来使用的比较弱的碳丝电灯相媲美。1887年，人们采用了冯·韦尔斯巴赫（Auer von Welsbach）的白炽煤气灯罩（第Ⅳ卷，边码274），并在1900年以前普遍使用这种白炽灯罩。更有甚者，煤气公司在19世纪90年代采用了投币自动售气的燃气表［1889年由索普（Thorp）和马什（Marsh）发明］，这使煤气普及到劳动阶层的大量用户。然而，煤气仅仅适用于照明、烹调和加热，电则能转到其他用途，例

如电动机的应用导致劳力被节省了。

19世纪的全部家用机械装置都是手工操作的，从洗衣机、绞肉机、苹果削皮器、刀具清洗器、榨汁机，到制冰机概莫能外。到了20世纪，小型电动机发展起来，逐渐取代了全部手工操作的装置，它在室内的首次使用就是用于驱动风扇。1889年，美国威斯汀豪斯公司采用了特斯拉（Nikola Tesla）研制的小型电动机，安装在一个小型旋转风扇中。1891年，这种风扇开始出售，供办公室和家庭使用。

47.2 真空吸尘器

1129

使用电动机的第二种装置是真空吸尘器，它在1901年由布思（H. Cecil Booth）发明并获得专利。这是一种全新的家用电器，在19世纪的各类发明中，还找不到任何像它这样的发明。

布思是土木工程师，从事各种桥梁和当时大多在集市与国际博览会上流行的大转轮的设计工作。他设计了伦敦伯爵宫廷展览会上的大转轮，还有仅存的那一台维也纳普拉特（Prater）的大转轮。一天，布思被一位朋友邀请到伦敦圣潘克拉斯旅馆，见证了一台美国机器的示范。这台机器通过吹动压缩空气的方法清除铁路车厢座位的灰尘，更有效的用处是将灰尘从面料中吸出来。回到办公室后，布思把手帕放在地毯上，跪下来用嘴吸它，不出所料，手帕下面满是灰尘。这个原理就是真空吸尘器发明的精髓。他立即买了一台电动机，定购了一台立式往复泵，派人到陆海军百货店（the Army and Navy Stores，在伦敦维多利亚大街布思的办公室附近）购买一些布料，用这些东西制造出第一台“真空吸尘器”。这项发明立即获得了成功，布思创办了英国真空吸尘器公司（现称戈布林公司），并在伦敦开展了房屋清扫业务。引人瞩目的是，在1902年国王爱德华七世（Edward Ⅶ）的加冕典礼上，这种吸尘器成功地清扫了威斯敏斯特大教堂。

最初，真空设备安装在马车上，穿着制服的雇员将一些长长的吸管伸进房屋的窗口来清扫房间。1904 年，公司开始制造小型家用吸尘器，配备有电动机、泵和收集罐，被装在一个小型的带轮手推车上，接通室内家用电源，由仆人操作（见图 47.1）。布思的专利权在法庭上几度遭到质疑，但他总是胜诉，不仅捍卫了收集灰尘的布袋的发明权，还确定了第一台真空吸尘器确实是他发明的。最初那台带有 5 马力电动机的真空吸尘器［称为“吹气棍”（Puffing Billy）］，在 1902 年 2 月 25 日首次工作，如今保存在伦敦科学博物馆内。

1909 年，马克沁（Hiram Maxim）爵士（1884 年马克沁机枪的发明者）生产了一台手动真空吸尘器，被称为“小巨人”。为了避免侵犯布思的专利，他把灰尘吸进一个装满锯屑的罐内，这些锯屑能过滤掉灰尘。在 20 世纪的头 10 年里，布思和其他人销售了许多其他类型的

1130

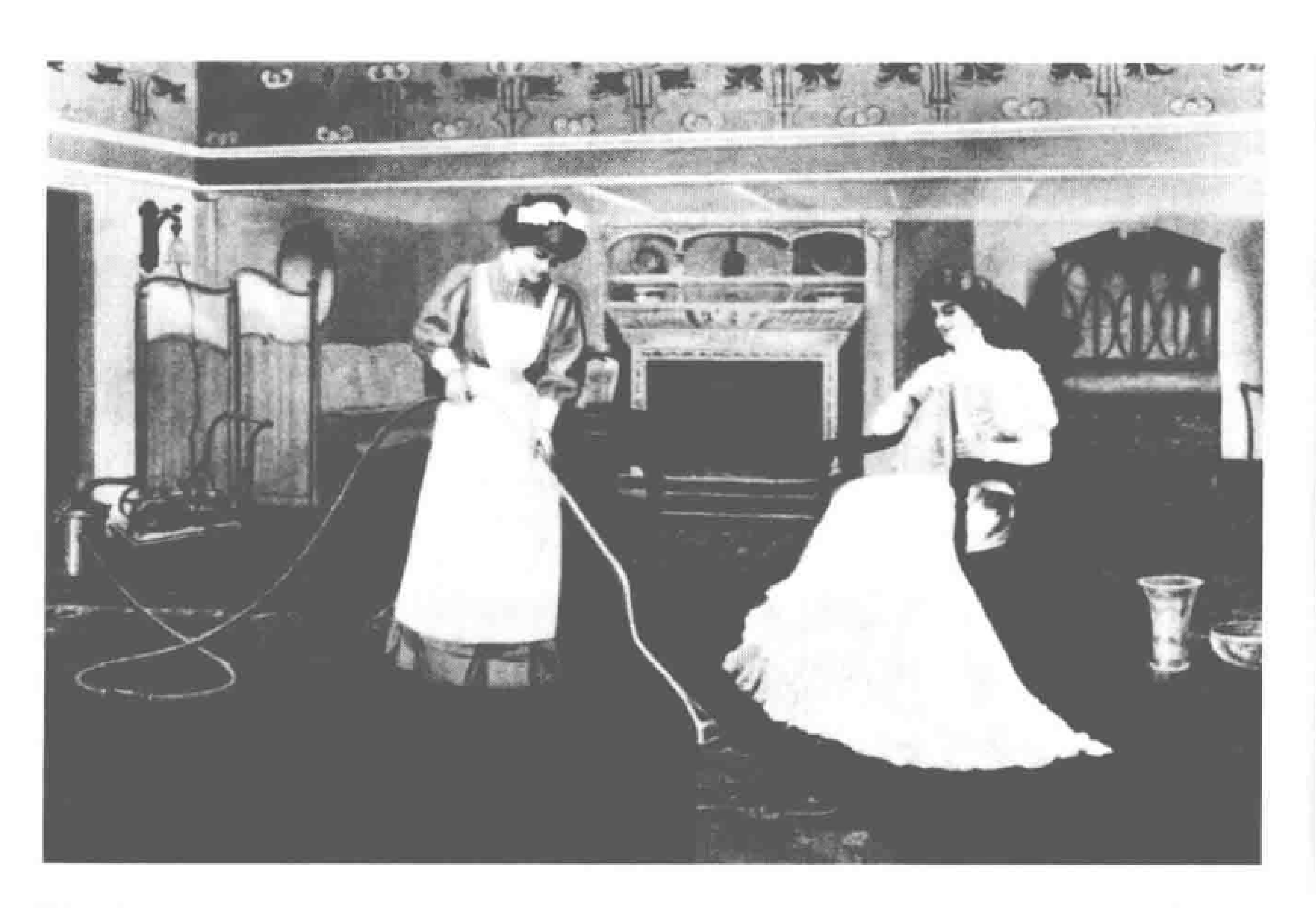


图 47.1 布思的真空吸尘器，一个 1904 年时的装置模型。直流电动机和真空泵安装在一个手推车上，并把插头插到照明电源上。灰尘被收集在金属罐里。

手动真空吸尘器，1908 年的“雏菊”牌吸尘器就是非常流行的一种。那时，大多数吸尘器需要两个仆人来操作，一人操作车轮或手柄，另一人则手持吸尘头在地毯上扫过。

第一次世界大战改变了一切。只有极少数家庭能够负担雇两个仆人的费用，妇女白天到工厂和办公室工作成为一种常态，甚至是必需的常态，几乎没有什么时间留在家里做家务。这就影响到一些家用电器（特别是真空吸尘器）的设计，要使它们成为必需品而不是奢侈品。

早期的真空吸尘器是可以由一个人操作的模型，其中一些吸尘器在地毯上被四处推动时，轮子带动着一个风箱，另一些吸尘器的结构像一个巨大的自行车打气筒，手柄拉起时就吸起灰尘。但是，这些吸尘器均缺乏动力，不过是用电动机来产生真空的吸尘器的低劣代用品。稍后，人们研制出了一些能由一个人推动的吸尘器，并且在轮子上装有一个大功率电风扇。

最早的小型电动吸尘器是“真空吸尘器”，1908 年在美国问世，战后遍及全世界的市场，并形象地起名为地毯清扫器。美国人斯潘格勒（James M. Spangler）获得了一种真空吸尘器的专利权，它有一个安装在一对轮子上的立轴电动机，能把灰尘送进电动机外一个专用袋子里。这个已被证实是成功的专利转让给了胡佛真空吸尘器公司，这家公司改变了主业，由原来制造和加工皮革转到专门制造吸尘器。1936 年，生产出了新款胡佛真空吸尘器，为它配备了一个由风扇电动机驱动的旋转刷，帮着清除地毯上的灰尘。他们还使用“除尘净无敌”的广告语，推销这种真空吸尘器。

当布思的真空吸尘器被采用时，遭到了仆佣阶层的强烈反对。他们不仅认为吸尘器对自己的生计是一种威胁，而且在使用这种新型机器时心存恐惧。人们应该记得，这项发明几乎是最早由普通的、未受过教育的人手工操作的机器。布思是在付出代价后才明白这一点的。

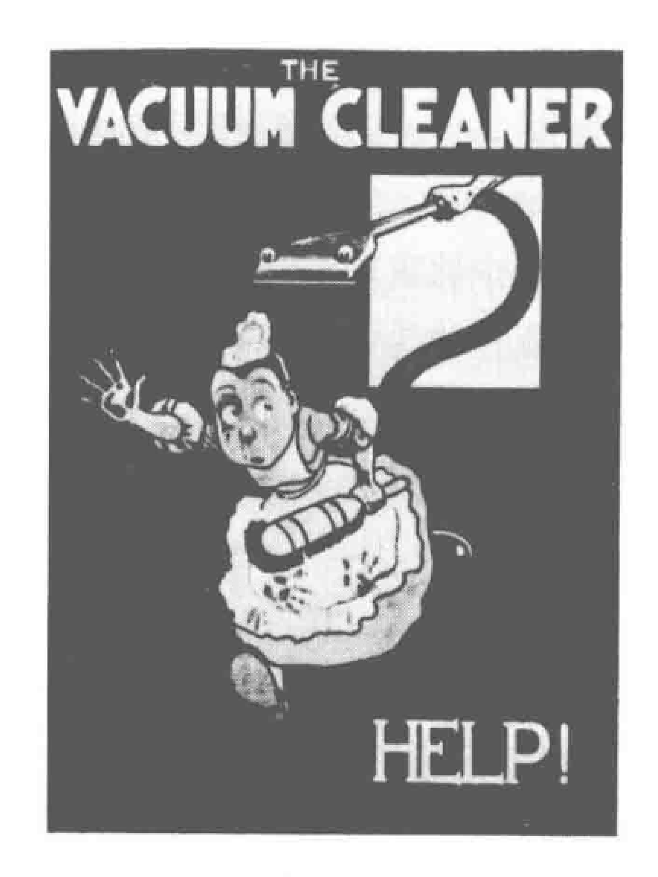




图 47.2　哈索尔设计的两幅早期真空吸尘器的广告。

1906 年，他邀请了当时最著名的广告画画家哈索尔（John Hassall，美国罗得岛州）设计广告画“帮手”（图 47.2 左），结果严重伤害了女仆的感情，使她们比以往任何时候更加坚决反对他的发明。认识到这一错误后，布思在 1909 年要求哈索尔设计了另一张广告画。事实证明，“朋友们”（图 47.2 右）这幅广告画缓和了反对者的情绪。

然而，人们不应忘记那种简单的地毯清扫机，它是从 1842 年惠特沃思（Joseph Whitworth）爵士的马拉街道清扫机的专利发展来的。在这种清扫机中，由推动马车的轮子带动一系列刷子，把污物从街道上扫进马车的车体内。在 19 世纪 60 年代，以完全相同方式工作的地毯清扫机，由美国密歇根州的格兰德高速地毯清扫机公司研制出来。至今，它几乎没有什么变化（并且很有用），仍是当今清扫地毯的主要手段。这样来看，真空吸尘器可谓经久不衰。

47.3 电炉和炊具

1132

20世纪的头25年，除了风扇和真空吸尘器以外，几乎没有什么家庭使用带有电动机的设备，不过电已经开始用于家庭烹饪和取暖。1891年，在伦敦水晶宫举行了一个电器商品展览会，电力工业的先驱者克朗普顿（R. E. B. Crompton）展示了很可能是第一代的电炊具和电加热器。1894年，他的公司把这类产品推向市场。

加热器（“电发热板”）采用福克斯（Lane Fox）的方式，把裸露的铁质加热丝嵌入一个面积大约为12平方英寸、涂有搪瓷并布满装饰钉的铸铁板。这些发热板被固定到墙壁上，用于军舰上船舱的取暖，还开始用于作为高级装饰品的锻铁屏风上，成为室内加热器（图47.3）。第一次应用电加热的效果并不令人满意，因为铁丝与搪瓷的膨胀系数不同且频繁发生破损。克朗普顿的电灶类似于当时的方形铸铁煤气炉，但加热板不在顶部。它们只有一个炉灶，底座上装有许多加热元件。

1133

在美国，1893年芝加哥的哥伦比亚展览会促进了用电进行取暖和烹饪。在这次展览会上，展出了一个“电器厨房模型”，包括一个电灶（灶上装有一个大的通风罩）、许多电水壶、平底锅和食品保温器，所有这些炊具都放在木质餐具柜上。那时，美国已经具有使用电力的成熟条件，因为它没有几个能供应替代能源的煤气厂，英国则有上千个煤气厂。因此，芝加哥展览会引起了全美国对家用电器的兴趣，产生的效果是水晶宫商品展览会（Crystal Palace Fair）和克朗普顿的家用电器无法相比的。

克朗普顿的加热板失败之后，其他人就开始着手解决出现的疑难问题。1904年，道辛（H. J. Dowsing）研制出一种电炉，它的加热器是一些大圆柱形的碳丝电灯泡（图47.4）。两三个这样的灯泡被垂直安装在一个装饰台座上，虽然散热很少，但显得很暖和（灯泡有时是黄的或红的），并且销售面很广。然而，直到研制出安全可靠的加热丝

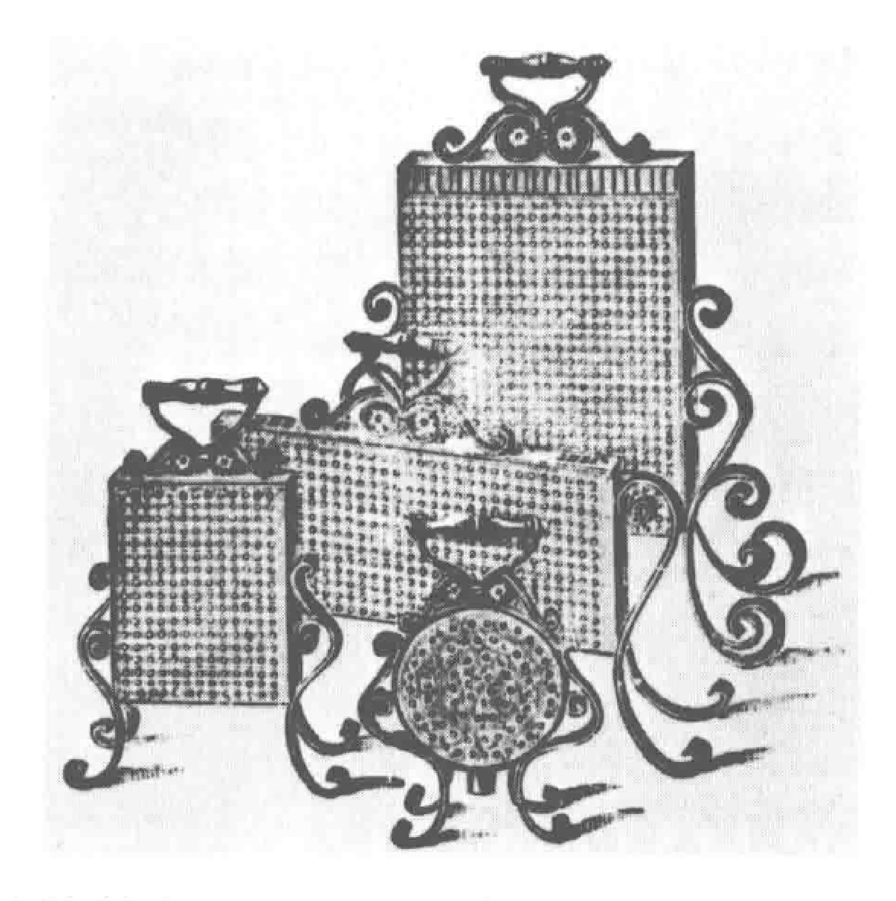


图 47.3 1893 年克朗普顿最早的电灶。这些是最初提供销售的电灶。加热丝嵌在一个涂有瓷漆并布满装饰钉的铸铁底板上（福克斯的专利）。

以后，这种电炉才真正流行起来。

1906 年，这种电炉投入生产。当时，英国的马什（A. L. Marsh）获得了一项能满足电炉使用的各种必要条件的镍铬合金丝（第Ⅵ卷，第 18 章）的专利，能够加热到很高温度而不被氧化或影响强度，大多数电炉中都采用了这种金属丝。最早的电炉是 1913 年出现并一直还在生产的贝林炉，它是标准型的电加热器。1909 年问世的巴斯蒂恩炉是一种令人感兴趣的“玩意儿”，里面的电热丝穿过一根水平的石英管（在单个的炉子上有 6 个这样的元件）。石英管既可以保护裸露的电热丝，又可以防止热电丝损坏时可能引起的火灾。1926 年，美国也研制出了一些电炉，这些炉子都有一根粗碳化硅棒作为加热元件。碳化硅棒的电阻很高，通电时会发出白热光，因此这种电炉被取名为“碳化硅棒”。凭借结构上的稳定性和简易性，加热元件

1134

电热丝赢得了竞争的胜利。因此，一直到20世纪中叶，用热电丝缠绕一个陶瓷框架的贝林辐射型电炉，几乎没有什么变化。消耗一两千瓦的电能，它就能满足一个中等大小房间的取暖，直接的辐射热和明亮、悦目的光线使它成为受欢迎的旧式煤炉的替代品。不过，通常使用电炉的费用要比煤气炉高，虽然实际上的差异取决于当地不同的收费标准。

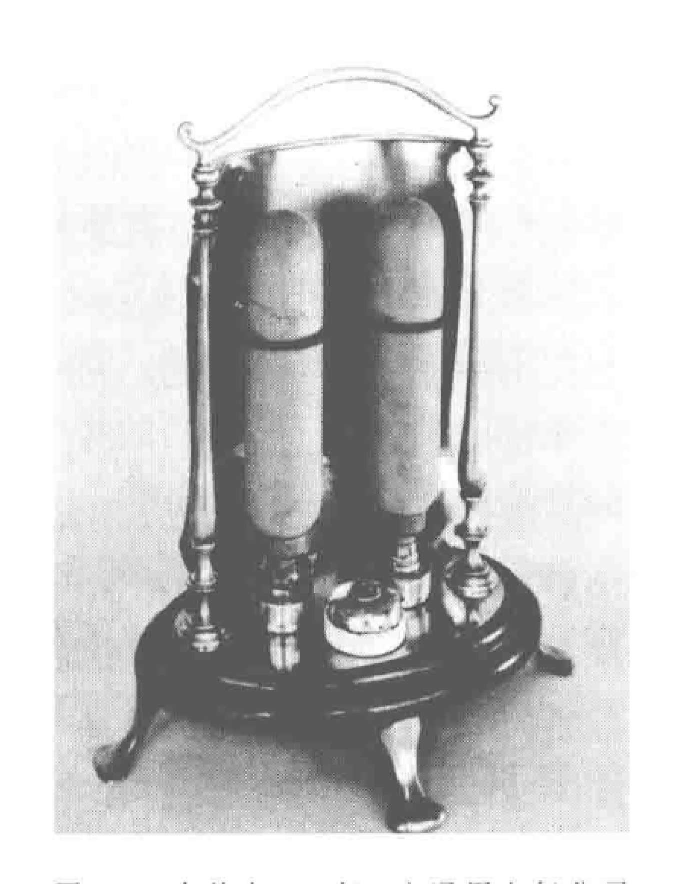


图47.4　大约在1914年，由通用电气公司（General Electric Company）制造的木质底座上的两灯泡电炉。灯泡内有碳丝和可发白热光；玻璃上染有红色或黄色，并且灯泡被插入一个"艺术新风"磨光反光罩（道辛于1904年获得专利权）中。

1135

1953年，科隆的埃克（Bruno Eck of Cologne）发明出切向通风机，促进了电炉的进一步发展。20世纪60年代，另一种电炉开始销售，炉内水平式的裸露电热丝安装在一个电驱动通风机后面。这种电风扇可以冷却热电丝并防止其过热，因此热电丝能承受较高的电功率。同时，它把热空气排进房间，使热能通过对流来遍及较广阔的区域，而不是由炉内直接向外辐射。

47.4　第一次世界大战

第一次世界大战是一些社会习惯和社会状况发生变化的分界线，它大大影响了家用电器的设计和采用。战争期间及战后，仆佣实际上已经永远不存在了，能够供养得起仆佣的家庭也所剩无几。战争期间务农或做工的年轻姑娘和家庭主妇们，也不再认为自己的位置只是待在家里，纷纷走出家门到办公室和商店工作。因此，所有能够保持家

庭整洁、减轻家务劳动的家用电器，都受到人们的欢迎。

事实上，甚至连厨房设计也改变了。庞大的黑色厨房炉灶（消耗数吨煤）前面有灶台，厨师和女仆可以围坐在它的周围，还有单独铺有瓷砖底板的洗涤池以及用煤加热洗涤水的固定“铜锅”，这样的情景成为过去的事情。新式厨房为家庭主妇建造出来，它具有平顶式的设备、一个小巧的煤气炉和清洗用的热水器，所有这些能轻松地放置在一个小房间里。

在美国，“厨房设计”观念的产生要早得多。早在1869年，比彻（Catherine Beecher）就在《美国妇女之家》（*American Woman's Home*）中提出通过合理布置厨房来扩大工作面积。1912年，弗雷德里克（Christina Frederick）在《妇女家庭杂志》（*Ladies Home Journal*）中撰写了一系列关于“新式家务管理”方面的文章。1923年，德国房屋建筑杂志提出建立一个“未来家庭”模型，为即将到来的变化指明了方向。在英国，1927年似乎也预示了新时代的来临。

47.5 煤气灶和煤气取暖炉

20世纪初，煤气灶和煤气取暖炉已经在家庭中占据了无可争议的地位，并且一直保持到第一次世界大战结束。19世纪整个下半叶，煤气灶由既重又黑的铸铁制成，顶上有一个通风箱，靠近底部的边上有燃烧器。煤气灶具有通常排列的本生灯，下面有烤架或烤面包炉。

1136

煤气取暖炉也几乎没有什么差别，黑色铸铁环绕在垂面耐火材料的白炽火焰周围，烟道直接通到烟囱上。但是，根据一个有趣的特征，总能辨认出煤气取暖炉。它总是被放置在房间的中心，并且经过装饰，样式和设计始终反映着它所建造时代的流行工艺。19世纪70年代，一度采用笨重的维多利亚样式（在铁的铸造工艺中产生出奇迹般的技术）。1865年，欧美第一次出现了轻便的日本样式。新工艺在进

入20世纪时出现，20世纪30年代又出现了“现代”装饰艺术。在家用电器中，唯独煤气取暖炉一看就能断定年代，误差不超过几年。

在20世纪，为了使煤气灶和煤气取暖炉的使用效率更高、更耐用，炉子的设计和散热片的造型方面稍微做了一些改进。人们还采用了自动点火法，包括连续电石打火机型、电热丝点火器以及最后由压电晶体产生的瞬态放电点火。然而，人们一直认为（大约在150年前，朗福德就有了这种看法）对任何炉子能做的最佳改进是防止热量从烟囱里跑掉。20世纪50年代开始制造的煤气取暖炉，就是从房间内获取空气，使它通过炉子的高温部分再流回到房间里，不和燃烧物接触。现在，这些“热空气循环对流加热器”的炉子是标准做法。值得注意的是，这种炉子早在1882年就由拉塞尔（Fletcher Russell）的公司制造出售，但当时并不那么受欢迎。

1923年，煤气灶有了非常重大的改进，采用了炉灶恒温器。迄今为止，在煤气炉上进行烹调和在厨房炉灶上一样，炉子的热量不是严格均衡的，在烹调过程中必须反复观察和判断。1923年，英国首先使用一种新式设备，它是戴维斯公司生产的“新世界”牌煤气灶上安装的一个“热量调节系统”（图47.5），在炉子顶部有一个用连杆控制煤气供应的恒温器，炉子边上有一个已校准的可改变设置的标度盘。戴维斯公司出版了一些烹饪书，向人们介绍做好每道菜所需的热量，以及在标度盘上应调整到的相应位置。人们第一次给这种炉子加上了保温材料制成的外套，炉子的烟道也从顶部移到了底部。除了改进烹饪装置外，为了使家庭主妇在离家外出返回时能够享受到烹饪好的膳食，人们在10年后把恒温器应用到电灶上。第一个具有恒温器的炉灶是1933年的克里达炉，这种恒温器被称为“克里达斯塔特”（Credastat）。

家用电器的设计总是很合理，因为它们经常由一个熟练的人来操作。黑色铸铁是最适合制造厨房炉灶、煤气灶、电灶和取暖炉的金属。

1137

这些用具必须用石墨粉来磨光，这是一件非常脏的工作，家庭主妇都不愿干。1920 年，黑色的煤气灶第一次在侧面和门上安装了涂白搪瓷的铁板，加热板则仍然是黑色铸铁的。20 世纪 30 年代，人们发现可以对整个炉灶或火炉（煤气的或电的）（图 47.6）涂上搪瓷，从而使这种用具能够用一块湿布很快擦干净，这标志着一个重大的变革。从此，所有的家庭用具都涂上了白色或浅色的搪瓷，厨房也就有了新面貌（第Ⅵ卷，边码 599）。

1138

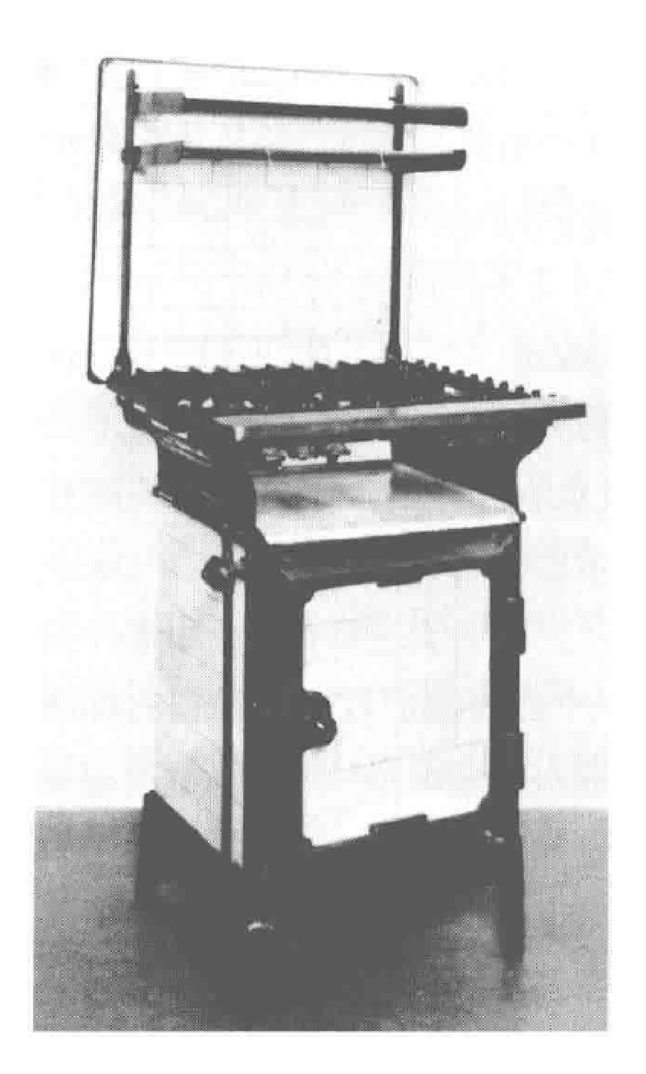


图 47.5　1923 年戴维斯煤气炉公司制造的煤气炉，具有“热量调节系统”的炉子恒温器。这是第一个用隔热材料来保护的炉子，采用恒温器控制热量——这是对煤气炉进行的最重大的改进。值得指出的是，该炉灶是由笨重的铸铁做成的，用涂有搪瓷的铁板固定到门及各侧面上，这是 20 世纪 20 年代采用的一种做法。

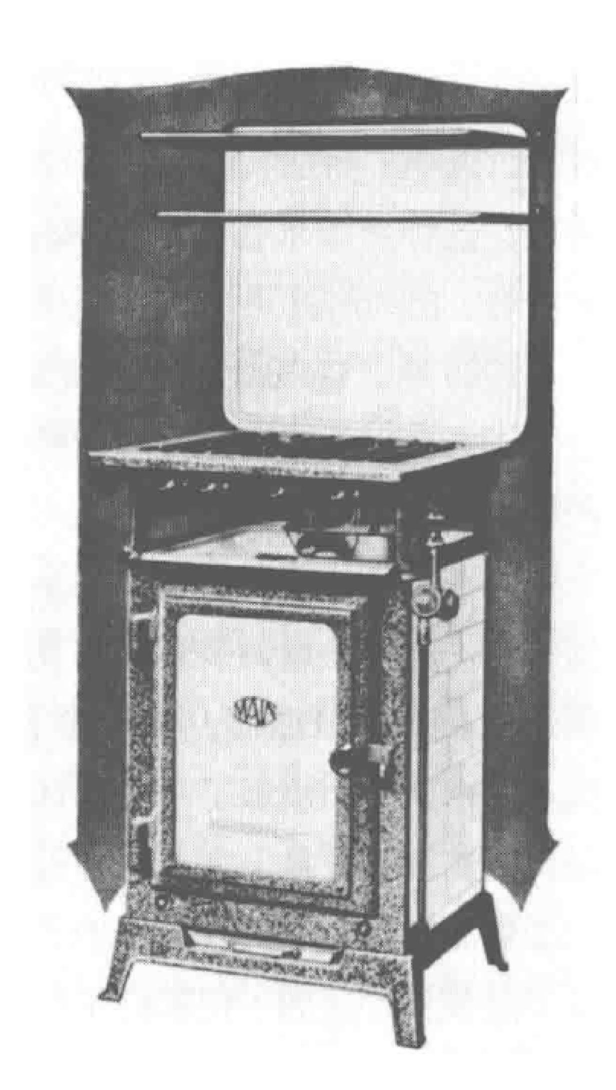


图 47.6　20 世纪 30 年代初梅因斯（Mains）制造的全涂搪瓷“梅因斯塞弗”牌煤气灶。这个时期，由于令人满意的彩色搪瓷加工工艺使得所有的家庭用具不再是黑乎乎的，既脏又重，厨房面貌焕然一新。自那以后，除了一些炉灶被制成流线型、重量更轻、结构更耐用外，几乎没发生多大变化。

47.6 固体燃料器具

整个20世纪上半叶，固体燃料的使用在逐步下降。为了减少煤烟污染，焦炭、低温焦炭和其他无烟燃料的广泛使用，导致炉灶和普通起居室取暖炉被淘汰。生产家庭壁炉专用燃料的制造商们想出了一个好主意，设计出一些特殊的盒式起居室内加热器，在严格的控制条件下，燃烧低温焦炭及类似燃料非常有效（图47.7）。然而，由于中央加热系统较广泛的使用，以及煤气炉和电炉的发展，固体燃料取暖炉到20世纪中叶，就差不多退出了人们的生活。英国的许多城市禁止使用除了无烟固体燃料以外的其他固体燃料，稠浓的烟雾完全消失了。

1139

"统帅"牌炉灶（图47.8）是保留下来并且流行一时的一种固体燃料燃烧装置，1924年由瑞典盲人、诺贝尔奖获得者（1912年）达伦

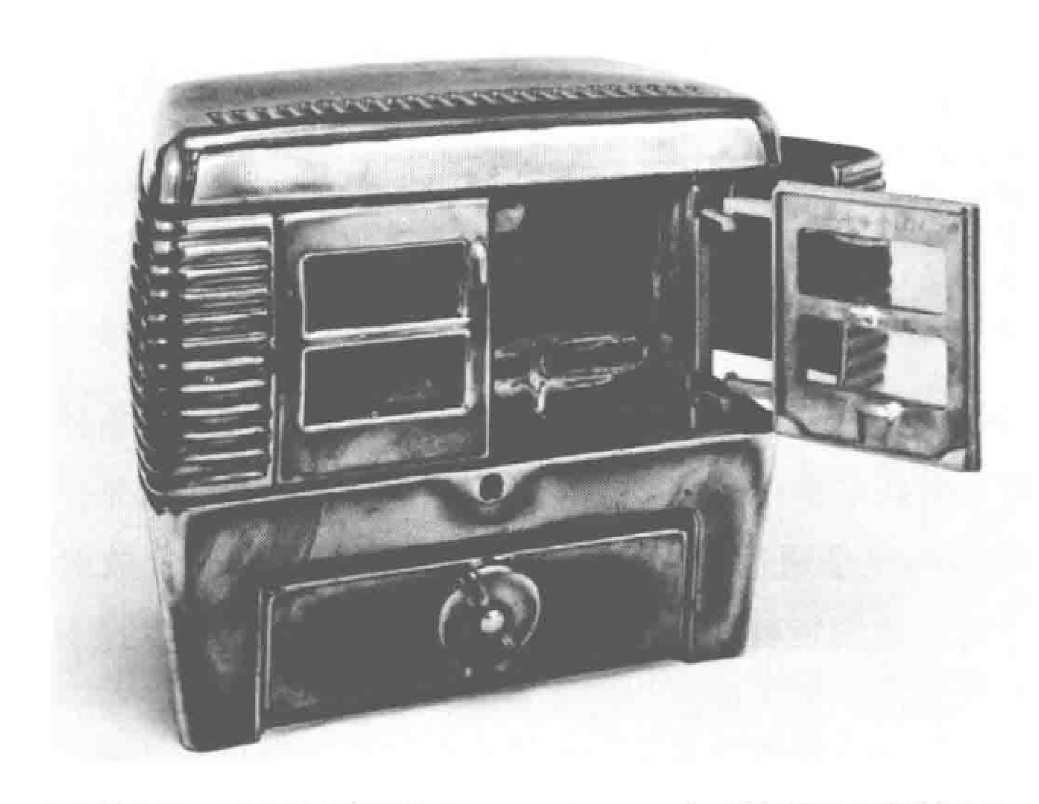


图47.7 由史密斯（Smith）和韦尔斯图特（Wellstood）于1955年研制的使用固体燃料的独立式涂搪瓷的室内加热器——"奉承者"牌（Courtier）加热器。它能放入现成的壁炉内。这种炉子在严密控制的条件下，燃烧焦炭或其他固体燃料（前面的圆形阀门用来调节空气，供全封闭式燃料床燃烧）。来自室内的空气也循环穿过炉顶和炉侧面的放热孔，并在不和燃料接触的情况下加热。后面的烟道把燃烧的产物输送到烟囱。

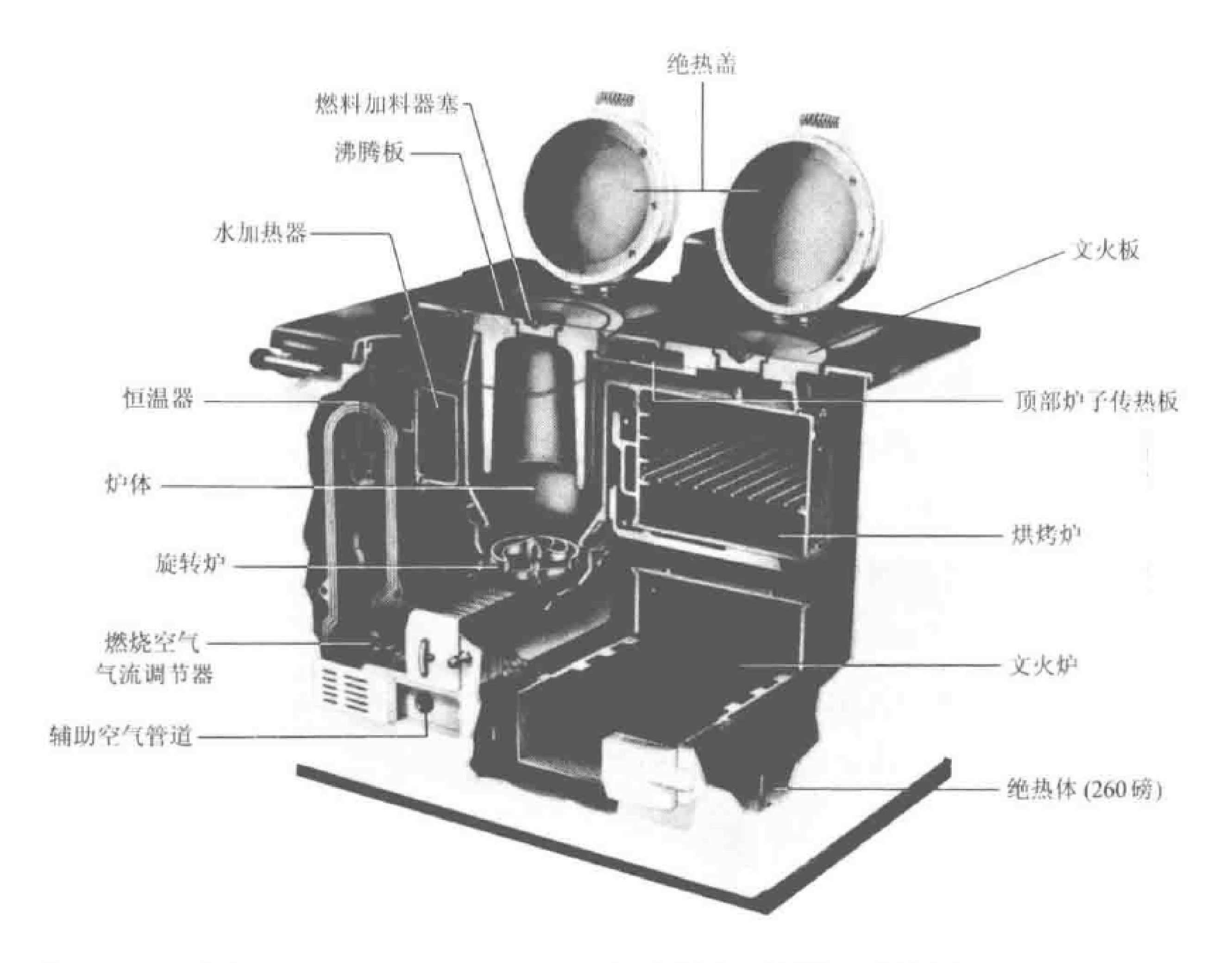


图 47.8 1946 年的"统帅"牌固体燃料灶。该剖视图展示出这个流行的极有效率的炉灶结构：位于深处的中央燃料床，备有恒温控制的空气补给装置。涂搪瓷的铸铁炉完全被绝热材料所保护，并且热仅能通过两块加热板散发—— 一块用于沸煮，另一块则用于慢煮。不用时，就把装有铰链的也用绝热材料保护的盖子关下来。

(Gustav Dalen) 发明。它是一个铸铁炉灶，在完全可控的条件下，无烟燃料在全封闭的炉内燃烧。整个炉灶用绝热材料保护起来，热能够溢出的唯一途径是通过炉顶表面的两个圆形孔，圆孔上放着罐和锅。当不烹饪时，就用装有铰链的笨重绝热盖子盖住这些孔。还有一种结构适于加热水的炉子，极适合用于烹饪，而且经济效益显著，一个家庭每年的燃料费能够准确地进行预算。如今，这些烧煤气和油的产品仍在生产。

47.7 电蓄热器

电不像煤气，它不能贮藏。在 20 世纪 20 年代，瑞典和其他地方的人们做了大量努力，通过制造电热器来降低电站的峰值负荷。这种电热器在夜间用电（以低廉的价格），并在一些混凝土块或砖块的大型部件中贮藏所产生的热。当定时开关断电时，这种高温热量能够用于家庭全天取暖。

1140

1930 年，英国的沃特福德郡（Watford）采用了这个系统，使用从瑞典进口的电蓄热器。这些电蓄热器是由一个内嵌有电热丝的皂石部件构成的，因此用电费用被称为“皂石费”。不过，这个系统最后被放弃了。直到 20 世纪 60 年代，英国才开始大规模安装电蓄热器以降低峰值负荷。这些电蓄热器由混凝土做成，被放进一个涂有搪瓷的盒子里，用厚实的隔热材料加以保护，因此接触到它们时并不会感到太热。其中，许多电蓄热器还装有小型电风扇，以加速穿过加热器的气流，控制其输出。

47.8 洗衣机

洗衣机的工作差不多完全依赖机械力来翻动浸在肥皂水中的衣服。对于新研制出的电动机来说这是一种显而易见的用途。难以理解的是，电动机用于洗衣机的进程相当缓慢。这可能是因为直到第一次世界大战时，没有仆佣的家庭很少有电供应，那些有仆佣的家庭又不需要洗衣机。

用手操作搅拌棒的旧式木桶是 20 世纪初标准型的洗衣机，水必须在火上加热，然后倒进木桶里。20 世纪 20 年代以及稍后，一个非常流行的用具是燃烧煤气的洗涤用锅炉，支架上放着一口轻便的铜煮皂锅，下面有煤气灶，用来加热水。它没有搅拌棒，而是用手翻动煮热的衣物。

20 世纪 20 年代，人们制造出了（大部分在美洲，特别是在加拿

大）木桶式洗衣机（在垂直的轴上装有一个木质的搅拌棒）。电动机用螺栓固定在木桶的下面，由它带动搅拌棒。通过啮合齿轮，它还能操作一个安装在木桶上的用来弄干衣服的轧液机（图 47.9）。遗憾的是，桶内溢出的水容易滴到电动机上，常常引起短路和触电。

20 世纪 20 年代后期，人们重新设计出了全金属的真正的洗衣机，并使用了防水电动机。在所有这些早期的洗衣机中，水必须在外部加热，然后倒进桶内。直到 20 世纪 50 年代，在桶内用电加热水的洗衣机才被制造出来。20 世纪 60 年代的最后一次改进是在洗涤过程中采用了自动控制装置，按照预先规定的时间，用定时开关来启动和停止机器、换水、排空桶内水等（图 47.10）。20

1141



图 47.9　大约 1920 年加拿大的比蒂兄弟（Beatty Bros.）公司生产的电驱动木质洗衣机。木桶和前后转动的木质搅拌棒是 19 世纪洗衣机的典型特征。第一次世界大战后，才出售像这样的机械洗衣机。它有一个电动机（在桶的下面），带动搅拌棒的传动带装置并驱动轧液机。水必须在外面加热，然后倒进桶中。

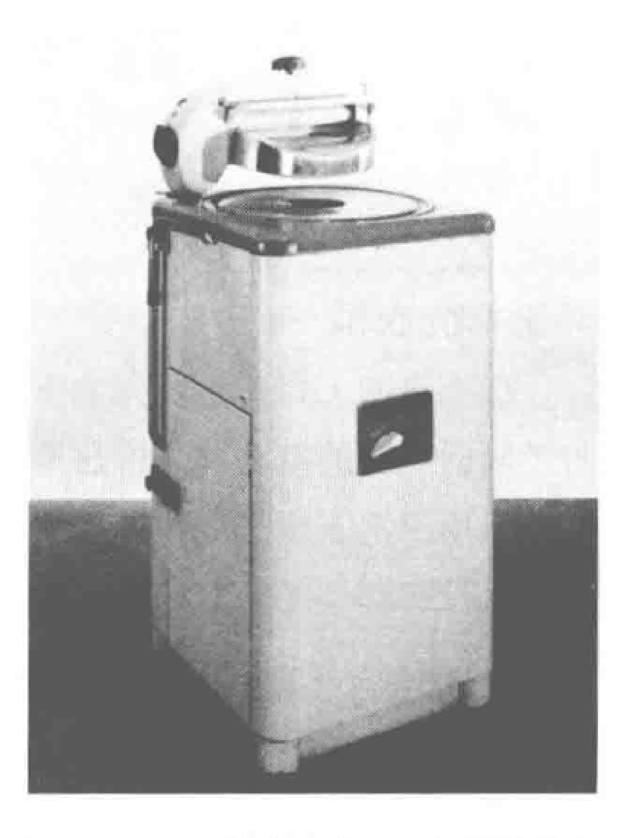


图 47.10　1960 年帕纳尔（Parnall）公司制造的“放射”牌电动洗衣机。到 20 世纪中叶，洗衣机已完全自动化。由恒温控制的电动浸没式加热器把水加热。在一些样机中，装水、搅拌、冲洗和排水整个过程都可由定时开关来控制。轧液机也是由电驱动的。为了便于清洗，整个洗衣机设计成流线型。

世纪 20 年代，旋转式脱水机已经在美国进入使用阶段，但它们直到 20 世纪 60 年代才在英国家庭中得到采用，莫名其妙地耽误了 40 年左右的时间。

47.9 家用热水

1142

在维多利亚时代，热水确实是一种昂贵的奢侈品。为了洗个热水澡，必须用水壶把水在炉灶上加热，并由仆佣把盛有热水的容器提到楼上的浴室里。甚至到现在，年纪较大的人还能回想起在乡下做客的情景。早晨会被男仆的敲门声吵醒，端来洗漱和刮面的热水。直到 19 世纪末，大多数的大家庭才有了热水管道，从修建在厨房炉灶内热水器的背后或侧面将热水输送到浴室里。

在 20 世纪的头 25 年里，热水已经成为各个阶层的家庭都会优先考虑的事情。当时，除了最简陋的房子外，几乎所有的房子采用的供应热水的方法，都是在那些已经废弃了煤气炉和从烧煤或焦炭的独立式“理想”型小热水器中提取热水。这是一个具有水套的圆柱形铁炉，在亚麻色的柜子里有贮水箱，通过一个温差环流系统来实现热水的循环。

1868 年，莫恩（Benjamin Waddy Maughan）发明了煤气热水锅炉，并率先取名为“热水锅炉”。这些锅炉和类似型号的热水锅炉（图 47.11）已经用于许多小家庭，但它们的运行最初极不稳定，甚至很危险，不仅偶尔会爆炸，有时也会使粗心的用户窒息或至少把眉毛烤焦。

开始的时候，热水锅炉只有供应热洗澡水一个目的。1889 年，尤尔特（Ewart）的公司（热水锅炉的制造者）采用了他们的“卡利方特”牌热水锅炉，把它安装在碗碟、蔬菜的洗涤处，给整个房子里的水龙头供应热水。当室内任何地方的水龙头打开时，燃烧器就会点着（由常燃的小火苗点火）。在水开始流动时，水压下降，使隔膜阀



图 47.11 1914 年，由拉塞尔公司制造的热水锅炉。用抛光的铜板制成的燃烧煤气的瞬时水加热器非常耐用，并且自 1868 年莫恩发明它（并取名为“热水锅炉”）以来，就成了加热洗澡水的通用手段。这张来自同时代产品样本中的插图，是社会的真实写照。图中一位穿着不起皱长裙的姑娘刚从曲棍球场回来，正由一个女仆侍候着。这是一个随着第一次世界大战结束而结束的时代。

打开，向燃烧器供应充足的煤气。他们在 1925 年推出的“维沃”牌热水锅炉更加小巧结实，在两次世界大战之间建造的小房屋中最为流行。然而，在将水瞬时加热方面，最大的改进来自德国。弗里德曼 (Bernard Friedman) 从琼克斯公司来到英国，从 1932 年开始制造和供应“阿斯科特”牌煤气热水器。它使用的燃烧器不是热水锅炉那种平焰非鼓风式的，而是多孔喷嘴式的。这种高效率多点式瞬时热水器赢得了市场，“阿斯科特”同此前的“尤尔特”一样成了热水器的同义词。实际上，最先进入英国的并不是这种类型的热水器，因为“普罗加斯”牌 (也是德国人的) 是 1930 年引进英国并在莱斯顿制造的。但到第二次世界大战时，就不再有这类热水器了。

因为气候温暖，英国在采用房间中央取暖装置方面的进展缓慢。1143 第一次世界大战以后，这种装置开始被采用，并且在第二次世界大战后迅速发展，20 世纪中叶时已经在大多数家庭中普及。起初，煤和

焦炭是这种设备的通用燃料。但是，固体燃料从20世纪60年代起就逐渐停用，改为使用煤气和油。在一些老式烧焦炭的锅炉里，人们安装了油或煤气燃烧器。在20世纪70年代之前，因为价格低廉，油取得了领先地位。此后，煤气在节约费用方面赶上了油。

一些燃烧煤气的系统被迅速设计出来。早在1904年，波特顿的锅炉（具有水套的铸铁蜂房型容器）就在伦敦桑道的体育学院（Sandow' s Institute of Physical Culture）用来加热水，但总的来说，那时煤气还不能同固体燃料竞争。20世纪中叶，燃气的中央加热锅炉变得更加结实和精致，"塞沃托米克"系统在20世纪60年代初达到了顶峰。在这一系统内，煤气隐藏在一个细长的主辐射器内（在大厅或走廊里），热水沿小管道在整个房间里循环。20世纪50年代，则是采用由电动机来循环水的"小口径"系统。

1144

当时，电还不是大规模加热水的重要热源，部分原因是它的价格较高。此外，对快速升温又不能烧断保险丝的家用电器来说，要供应足够的电力很困难。因此，大多数电热水器是贮热型的，1924年巴斯蒂的"夸特扎利特贮存式热水器"就是一个首创。这种装置由一个使用绝热材料保护的水箱（用球阀控制水的供应量）组成，在它下面是一个普通的电热丝加热元件。几年后，具有浸没式电加热器和恒温器的大型贮存箱开始流行。

电水壶有一个更长的历史，是现今较重要的家庭用具之一。1894年，它就出现在克朗普顿的电器商品目录中。但是，如果就此认为那种最初的电水壶让人满意，则毫无根据。所有这些早期的型号中，电加热线圈只是装在普通水壶的下面，所产生的热只有一小半传给了水，再加上电是一种昂贵的热源，电水壶无法成为煤气灶上的水壶的竞争者也就不足为奇了。

1921年，布尔皮特父子（Bulpitt and Sons）的伯明翰公司把"天鹅"牌水壶推向了市场。在这种水壶中，主要改进之处是加热元件完

全浸没在水中，效率几乎达到了100%。从那时起，电水壶开始得到公众喜爱，尤其是因为它们轻便并且不存在失火的危险。到1950年，电水壶上还增加了自动断路装置，在水沸腾时自动切断电流。在此之前，电水壶的最大缺点是水会烧干，以致裸露出来的加热元件被烧坏。

47.10 冰箱

20世纪初，一些富有的家庭才有了冰箱。就大部分家庭而言，为了保存食物，拥有宽敞而带罩的食橱，或具有良好通风和一些沉重石头架子的食品室，就被认为足够了。

冰箱是一种具有锌制隔板和沉重木质外壳的柜子，木质外壳形成一个阻止热量进入其内部的绝热体。冰块放在橱柜顶部的隔间里，被它冷却了的空气，通过孔眼下降到放在箱内架子上的食物上，冷凝水则聚集到底部的托盘里。厚实的、用隔热材料保护的门密封着箱柜，每周在街上有马车流动出售冰块。

1145

自19世纪50年代起，人们对于船上的肉食存贮完全采用了蒸汽压缩型冷冻机（第V卷，边码45），但家用冰箱直到20世纪20年代初才有出售（首先在美国），截至1923年有超过2万台冰箱投入使用。20世纪20年代中期，英国就销售了第一批家用冰箱，这些“电冰箱”牌和“凯尔维纳托”牌冰箱都使用一个电动机来驱动压缩机，最初，有时还需要连接一个起辅助冷却作用的供水设备。一些型号的冰箱——例如20世纪30年代在英国广泛使用的B.T.H.冰箱，就有一个大的散热器安装在冰箱的顶部（图47.12）。

1146

开始的时候，氨水被用作冷冻剂。20世纪20年代后期，合成冷冻剂得到了发展。如今普遍使用的卤代烃是无毒的，万一泄漏也没什么害处。最早用于制冷目的的一种人工合成化学制剂，被人们称为“氟利昂”。

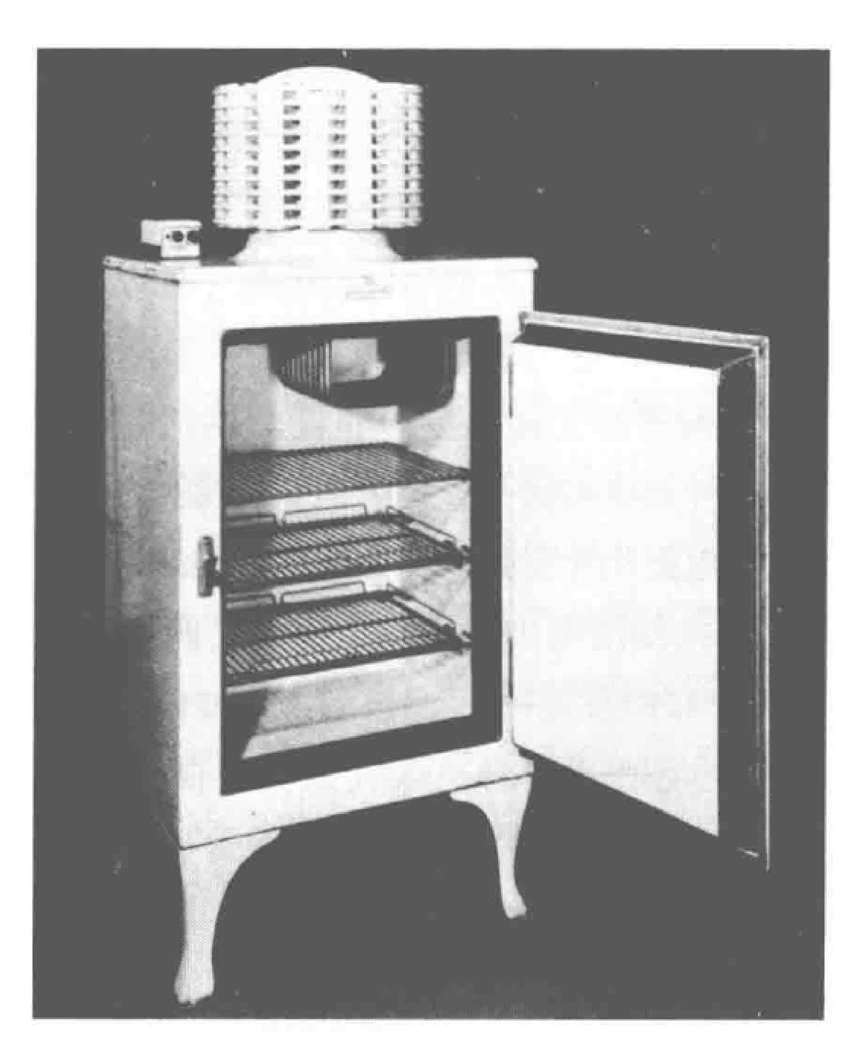


图 47.12 1932 年的 B.T.H. 冰箱。最初，一些用电驱动并靠蒸汽压缩系统工作的家用冰箱，其内部或是需要供应循环冷却水，或是像图中这样在冰箱顶部安装一个大散热器，作为辅助冷却装置。

1922 年，瑞典的埃莱克特罗勒克斯公司从青年学生蒙特斯（Carl Munters）和冯·普拉顿（Balzer von Platen）那里购买了一项按照吸收作用原理工作的冰箱专利。按照这一专利，由一个小火焰或一个电加热器汽化冷冻液，迫使来自氨水溶液的蒸汽进入冷凝器内，产生液体膨胀，使温度降低。由于没有易损耗的运动部件，埃莱克特罗勒克斯公司的冰箱在家庭中得到广泛使用，尤其是在没有电力的地方，因为它靠油或煤气燃烧器也能很好地工作。1925 年，英国引进了这种类型的冰箱。20 世纪 60 年代，大多数家庭都购买了冰箱。

47.11 熨烫

在维多利亚时代的初期，熨斗（在美国叫大熨斗）是一个具有木质手柄的笨重铁盒，里面放着赤热的铁块。在炉火上加热之后，铁块被一对钳子夹入盒内。后来，人们将它们做成了如今众所周知的常见形状，并把它们放在敞开炉的前面或顶上加热，或者放在洗衣房和乡间大房屋里的专用熨斗炉上加热。19 世纪后期，它们被放在煤气灶的热板上加热，这种加热方法一直延续到 20 世纪的前 25 年里。在此之后，煤气熨斗和电熨斗才受到大部分家庭主妇的青睐。

熨斗属于第一批使用电力的家用电器，它同各种各样的电水壶、食物保温器、电炉和烫发钳一起，被列入 1894 年克朗普顿公司的商品目录中。20 世纪刚开始时，煤气熨斗还在使用，市场上仍在供应这种产品。这种煤气熨斗有一根柔韧的管子，用来向内部一个煤气燃烧器供应煤气。20 世纪的头 30 年里，人们对熨斗稍微进行了一些改进，煤气熨斗和电熨斗上涂了搪瓷，安装了恒温器。后来，"蒸汽熨斗"研制出来，从底部的小孔里将细小的蒸汽流喷到衣服上。除了这些革新，设计方面几乎没有发生什么变化。

47.12 其他各种家用电器

在真空吸尘器和冰箱之外，20 世纪几乎没有出现维多利亚时代未曾采用过的家庭用具。苹果削皮器被彻底淘汰，但人们使绞肉机、咖啡研磨机、食物搅拌器和开罐器完全电气化了，虽然在实际操作中，大部分还是以手工为主。用抛光粉末擦亮钢制餐具的旧式旋转刀具清洁机，一直用到第一次世界大战后采用不锈钢餐具为止。但无论在什么地方，人们都用电去加热或使电器运转。两次世界大战之间，美国康涅狄格州新不列颠的兰德斯、弗拉里、克拉克公司是家用电器的大制造商和生产商。

1147

20 世纪，人们逐渐使用了电吹风。最初它像一个方盒子，安装

在化妆台上，热空气从方盒的小方孔里喷出。到20世纪20年代，它才发展成像现今手枪的样式。20世纪50年代的气动瓶塞钻是家庭新用具，它由一个装在小气筒末端的细空心钢制大钉构成，小气筒就好像家庭中使用的小苏打水瓶。大钉打穿塞子，气体穿过钉管（在其他型号中，是用手打进空气），塞子因受力而移出瓶外。20世纪60年代还采用了电动雕刻刀（由一个电磁铁来振动刀片）和自动废物处理装置，这种处理装置安装到洗涤槽污水管里，可以软化厨房里的固态废物，令其流入家庭下水道中。

1865年，美国发明了盘碟洗涤器（把脏器皿放进一个箱柜里，使它受到热水的喷射），它们多用于班轮上和旅店里，除了一些大家庭，未在人们的家庭生活中广泛采用。对比起来，人们曾经更倾向采用电热毯。虽然它在第二次世界大战后刚面市时不太安全。不过，由于有

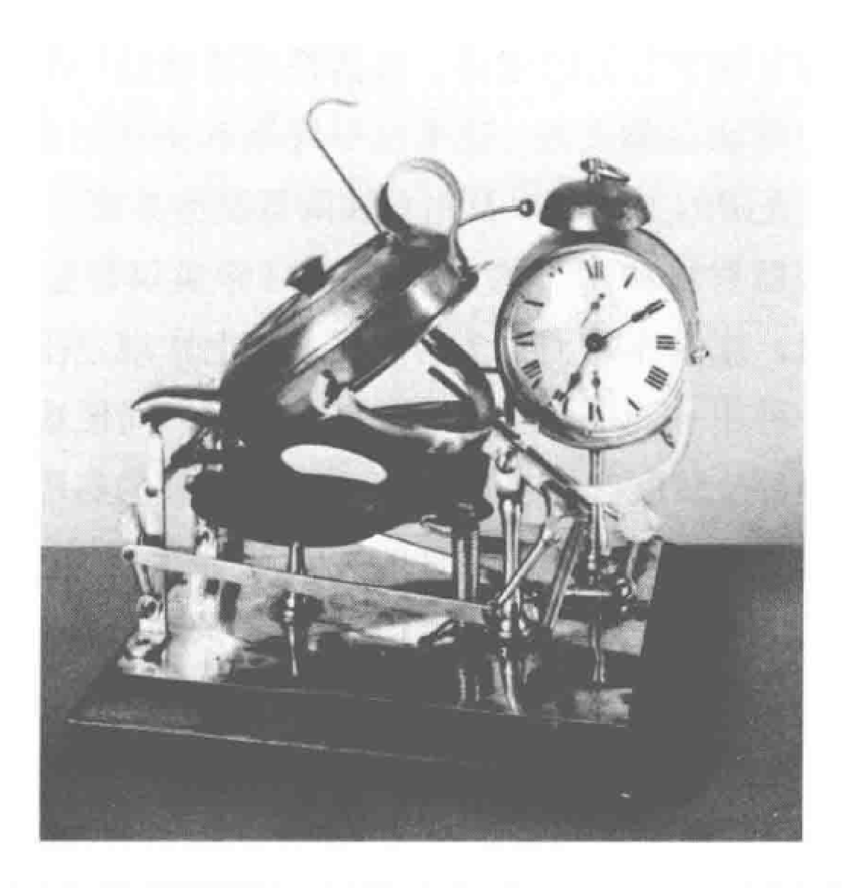


图47.13 1904年的自动沏茶机械装置。这个精巧的沏晨茶的机械装置，在20世纪初的售价为1.50英镑到3.10英镑（或者1.25英镑到3.50英镑），它能擦燃火柴点燃酒精炉，并且将水壶内煮沸的水倒出。大约30年后，像19世纪使用的大多数用具一样，电在这种家用器具中的应用使类似装置大为简化。

了新的安全法规，电热毯对许多人来说还是相当有用的，并且几乎取代了旧式热水罐（即使这业已电气化了）。

20世纪的一个新发明是自动清晨沏茶器。早在1904年，伯明翰的一个军械工人最先制造出可供市场销售的沏茶器并获得专利。它借助一个普通闹钟来运转，闹钟在指定的时刻启动一个机械装置，这个装置首先划燃一根火柴，点燃水壶下面的酒精炉。当水烧开时，翻滚的水松开搭扣，让水壶倾斜，使水注满固定在一旁的茶壶，同时还敲响闹钟的铃，唤醒睡眠者（如果他未被唤醒，那么就可怕到极点了）。直到1932年，当霍金斯（Hawkins）的"蒂斯梅德"牌产品出现时，电动沏茶装置才在市场上销售。这是一个简单的床边用具，里面的一个电动钟表接到水壶里的浸没式热水器上，还能自动地倒出沸水。

1148

20世纪的这些社会变化是推动当时家用电器迅速应用的主要因素。新材料也有助于它们的使用，包括铁的涂搪瓷，不锈钢和铝的应用，新的化学物品的发现（就不粘平底锅和洗涤用清洁剂而言），尤其是塑料在光滑的工作面以及用具和陶器制造方面的使用。

所有这些新材料和用具的典范是1944年英国制造的预制房屋。此前的几年里，炸弹炸毁了太多的房屋，加上常规建楼计划的削减，政府设计出一种用一辆平板车运输的平房，可以简便地在地基上把预制房屋的两部分装配起来。1945年，这样安装的房屋已有数千栋，设计寿命为10年，其中几百栋这样的房屋30多年后仍在使用。它们具有尽可能便利的设施，包括采用气管式的中央加热系统、来自无烟燃料炉的源源不断的热水、洗涤用锅炉、冰箱、煤气灶或电灶等等，所有这些都安装在一个单元里。这是第一次向劳动阶层提供同中产阶层和上等阶层一样舒适、方便、有效的设施，堪称英国社会历史上的一个里程碑。

1149

由于整个20世纪所做的大量广告，以及按通用的分期付款法实

行销售（为了推销像煤气灶、热水锅炉和火炉这类用具，20 世纪 30 年代制定了这种购买法），家庭生活变得更加奢侈和安逸，尽管其中充满着种种复杂的情况。

参考书目

Bernan, W. *Warming and ventilation.* London. 1845.

Edwards, F. *Our domestic fire-places.* London. 1865.

Giedion, Siegfried. *Mechanization takes command.* Oxford University Press, New York. 1948.

Joly, V. C. *Traité pratique du chauffage.* Paris. 1873.

Stewart, E. G. *Town gas.* H.M.S.O. London. 1958.

Wright, Lawrence. *Clean and decent.* Routledge and Kegan Paul, London. 1960.

——. *Home fires burning.* Routledge and Kegan Paul, London. 1964.

第 48 章 计算机

汤姆·马杰里森（TOM MARGERISON）

在整个 20 世纪技术发展中，数字计算机的影响最普遍，意义最深远。研制一台自动化机器，使之能够模拟人脑运算、解决逻辑问题等，这是人们长久以来的期待。相当多的人从事着运算、排序、计数、检索和分类方面的工作，在单调和重复中寻找，不可避免地要发生一些错误。偶尔还会造成巨大损失。因此，寻找降低这种人工劳动强度的办法，在科学、应用科学和商业领域已经变得非常迫切。 1150

本章将特别关注 20 世纪上半叶计算机的发展历程。考虑到与更早时期计算工具的继承关系，加上这些在本书的前几卷中均未涉及，所以有必要先简述一下计算机器的早期发展史。

任何有效的辅助计算手段被采用之前，都涉及大量计算人员的组织与管理。以对数表的制备为例。1784 年，法国政府决定编制新的对数表和三角函数对数表。6 位数学家组成了 1 个研究小组［其中包括著名的勒让德（A.-M. Legendre）］，设计方法并指导工作。七八位具有一定数学知识的带头人，将具体工作安排给七八十位计算员，并负责对每个计算结果进行两次核查。这项工作花费了两年时间，结果以两份未付印的原稿而结束。被称为“地籍图表”（Tahles de Cadastses）的这两份原稿各被装订成 17 卷对开本，但是由于可能会有许多错误，因此从未被印刷过。

甚至在19世纪，绝大多数通用的计算表都不是很精确。皇家天文学家马斯基林（Nevil Maskelyne，1732—1811）创办了英国《航海历》（*Nautical Almanac*），它的精确性获得了很高的声誉。但是，1818年的版本中发现了58处错误，1830年的版本中也有几乎同样多的错误，所以马斯基林去世后没多久，这部历书也就名声扫地了。受精确计算迫切需求的刺激，巴比奇（Charles Babbage，1791—1871）在1840年左右设计出了具有许多现代电子计算机特征的机械计算机器。据说，1812年的某一天，巴比奇和赫歇尔（John Herschel，1792—1871，后为约翰爵士，天文学家和物理学家）坐在巴比奇位于剑桥的房子里，核查别人为他们所做的一些计算。当时，他们怀疑这些计算中有许多错误。巴比奇说："我祈求上帝让这些计算自动执行。"赫歇尔回答说："那是完全可能的。"由此，巴比奇开始了关于自动计算机器设计的思考。

1151

巴比奇计算机器（我们将在后面详细介绍）的制造极具挑战性，远远超出了当时可以制造它们的技术范围。同样是因为缺乏工程技术，17世纪和18世纪发明的一些其他更简单的计算机器未能被普遍使用。这些机器并非自动化的，就像现代台式计算器一样，必须有操作人员不断干预。1642年，当时19岁的法国哲学家兼数学家帕斯卡（Blaise Pascal，1623—1662）发明了第一台加法机，据说被用于他父亲的收税工作。大约30年后，德国数学家莱布尼茨（Gottfried Leibniz，1646—1716）对原先的想法作了改进，制造出了能进行加、减、乘、除的机器，设计思想到20世纪时仍为许多机械计算机器所使用。不过，由于这种机器太复杂，可靠性不高，当时未能批量生产。

17世纪，人们对能进行算术运算的机器的需求非常大，丝毫不亚于19世纪。数学和科学的迅速发展及其在航海和商业方面的应用，导致了对算术运算技巧的需求提高。为此，成年人努力学习乘法表，掌握复杂的长除法。例如，29岁的高级文官佩皮斯（Samuel

Pepys）就在自己的日记中，记载了他正在努力学习乘法表，以便进行算术运算。

内皮尔（John Napier，1550—1617）是苏格兰爱丁堡附近梅奇斯顿（Merchiston）的一位男爵，他的一项发明最终拯救了17世纪的计算器，这项发明不是机器而是数学方法。内皮尔深知不少人算术运算困难，便设计了一种被他称为“杆卜术”的新乘法运算法。“杆卜术”听上去似乎有点故弄玄虚，一般称作“内皮尔骨算尺”（图48.1）。“骨算尺”其实是一种可移动的乘法表，由许多独立的方格尺杆组成，以便和每一个特定的被乘数匹配。每根尺杆都分成9格阶梯，最高一格含有某个数字，第二格是最高一格的那个数字乘以2，依此类推。因此，阶梯中最低一格就是最高一格数字乘以9。人们把一些可供选用的尺杆或“骨算尺”装在一个盒子里，并对被乘数的每一位数字选取一个含有特定数字的尺杆。因为尺杆一个挨着一个安放在桌上，所以沿顶部的那一行数字与被乘数正好相对应。假若乘数是679，使用者就跨过“骨算尺”查看第9行（最低一行），该行含有9与被乘数的各位数字的积。从右边的“骨算尺”开始，记下第9行的个位数值，然后把这一“骨算尺”的十位数值加到左边“骨算尺”第9行的个位

1152

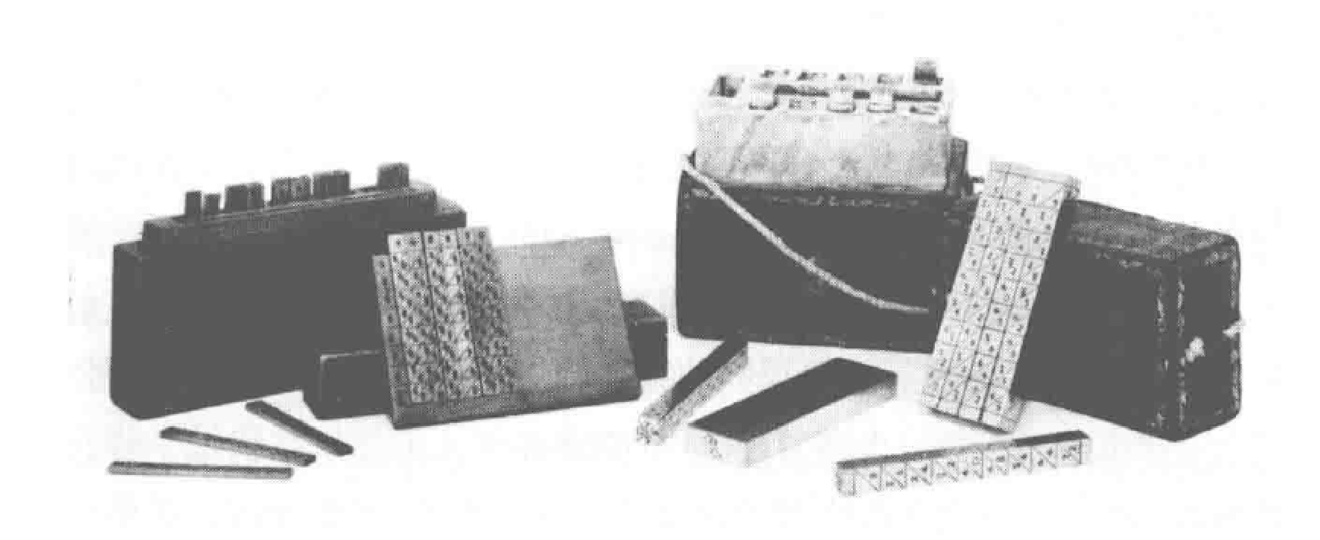


图48.1　内皮尔骨算尺。

数值上，如此类推，这样就可得到9乘以被乘数的积。接下来，对第7行也采用上述同样的方法，写下70乘以被乘数的积，然后用第6行再这样做，又得到了600乘以被乘数的积。最后，将这3部分的积加在一起，就可得到所需的答案。虽然内皮尔的"骨算尺"只对不会背乘法表的人有价值，但在20世纪的许多计算器和计算机中，都体现着这种依据查表法的乘法。

1153

和骨算尺相比，内皮尔发现并于1614年叙述的对数更重要。他所制作的原表，由角的正弦对数组成。读了内皮尔的叙述，伦敦格雷沙姆学院的几何学教授布里格斯（Henry Briggs，1561—1631）写道："有了梅奇斯顿男爵内皮尔新颖而绝妙的对数，我的工作进展很快。"布里格斯认识到他能用对数把乘法转化为加法，把除法转化为减法。他尤其专注于以10为底的对数，用毕生的精力去计算和出版对数表。

直到19世纪末期，用于计算的机械辅助装置，才发挥了重要作用。1820年左右，第一台有效的计算机器由科尔马（Charles Xavier Thomas de Colmar）制成，原理同莱布尼茨机一样，在1862年伦敦世界博览会上获了奖。此后30年里，大约有1500台这样的机器被生产出来，并被命名为"四则运算器"。陆军少将汉宁顿（J. Hannyngton）曾用两台"四则运算器"计算他在1876年编制的一个半正矢表，不过"四则运算器"当时并未被普遍接受。桑（Edward Sang）在《计算的机械辅助装置》（*Mechanical aids to calculation*，1871年）一文中曾写道："总之，数学家们并不是特别寄希望于计算机器的帮助。"《保险百科辞典》（*Insurance Cyclopaedia*）的作者沃尔福德（Cornelius Walford，1871年）对此回答说："我们必须认识到这样一个有益的事实，即我们不能把我们的智力功能委托给一台机器、一个公式、一条规则或定理，对它们说：我懒得去想，请你来替我做、替我思考吧！""……就所有熟悉'四则运算器'用途的人而言，它是很不错的，但并非是我们的计算工具。我们相信那些巨大的机械能力将

会付诸实际应用，巴比奇已对此做了预言和证明。”[1]

然而，巴比奇设计的机器在 70 年后才终于被制造出来，不过所采用的技术不是机械的，而是机电的，后来则是电子的。面对几乎是刻不容缓的需求，它突然现身于世，应用特别迅速，不仅用于政府工作和科学工作，也用于普通的商业领域。20 世纪 30 年代，出现了一定数量的关于计算机的重要理论著作，特别是英国的图灵（Alan M. Turing）的著作[2]。但是，直到 1940 年仍未制造出数字计算机，所有的计算工作仍然由机械计算器来完成，这些计算器与莱布尼茨的机器相差无几。与此同时，商业领域中较大的公司已经使用穿孔卡片机，它能够进行数据分类，执行简单的算术运算并打印结果。此外，兼有打字机和计算器功能的会计计算器也得到了相当广泛的应用。科姆里（L. J. Comrie）等数学家揭示了这些机器如何作为不同工具被用于表格计算中，在布什（Vannevar Bush）的微分分析器[3]（1931 年）的基础上，许多机械模拟计算机也被制造出来，用于各种科学和国防问题微分方程的求解。

1154

截至 1950 年，作为二战期间迅速发展起来的电子和通信技术的成果之一，数字计算机在德国（1941 年）、美国（1944 年）、英国（1948 年）和瑞典（1950 年）分别被研制出来。最早的计算机是机电的，而不是电子的，并且不存储自身的指令程序，必须用手工对每个问题进行设置，或者借助于接线板，或者借助于穿孔卡片或纸带上存放的固定指令序列。显然，它们都比不上巴比奇最初设想的机械计算机。制造出第一台计算机的美国人艾肯（H. H. Aiken）就说过：“假如巴比奇多活 75 年，我恐怕就要失业了。”

到 1951 年，第一台商用电子计算机——通用自动计算机（简称 UNIVAC 1）——安装在美国人口普查局，并且（确切地说，碰巧）预测了 1952 年美国总统选举的结果。翌年，在剑桥大学 EDSAC 计算机的设计基础上，一台英国电子计算机 LEO 开始用于伦敦 J. Lyons 面

包连锁店的面包和蛋糕订单的处理。这是计算机第一次应用于商业领域。

对计算机的需求增长如此之快，以至一个从事计算机设计、制造和销售的新兴产业在1960年建立起来，在美国有26个公司，英国有7个，德国有3个，荷兰有2个，法国有1个，意大利有1个。到1965年，这一新兴产业已经达到世界一流水平，拥有价值100亿美元的安装设备，强大的雇员队伍，年增长率几乎达到50%，另外还有30多万机器操作工和维修工。那时的美国已经显示出十足的领导地位，拥有2万多台计算机设备。相比之下，西欧只有5000台，苏联和东欧则不足2000台[4]。

在美国，计算机的使用方式与其他地方不同。大多数的美国计算机用于会计和商业计算，欧洲则主要用于科学和国防。正是因为这一差别，美国的国际商业机器公司(IBM)到1965年几乎拥有世界计算机市场3/4的份额。究其原因，部分是由于经济条件，部分则是由于雷明顿·兰德(Remington Rand)和(稍后的)IBM公司进入计算机制造领域。这两个美国公司既有着向工业界销售穿孔卡片系统的长期经验，也有着相当的销售技巧。他们改装了自己的计算机系统以适合商业会计过程，承诺可以提高速度和可靠性、降低劳动成本。事实上，美国公司的管理部门也有安装这种新计算机的需求。这些因素成就了美国计算机行业的辉煌，其他国家的计算机行业想要进行竞争是很困难的，甚至是不可能的。

1155

最初，电子数字计算机的应用在于它的运算能力的强大，但人们很快就发现它们作为逻辑机，在信息的处理、存储和检索方面有着更广泛的应用。计算机能够执行全部逻辑程序，17世纪的莱布尼茨在他的“思维规律”中已经预见到了这一点，布尔(George Boole，1815—1864)在19世纪中叶则进行了详细研究。尽管各个单独步骤可能微不足道，但因为程序执行得非常迅速，成百上千万次这种操作

的总和却显示了一种崭新的能力。总之，指纹搜索、语言研究和库存控制等都可以用计算机来进行详细分析。

高速运算使计算机有可能进行数据检索，或者运用所谓的“实时”系统按要求进行计算。例如，在1964年麻省理工学院实施的MAC项目中，允许多个用户通过电传打字机终端直接接通一台计算机，虽然计算机设备是多人共享的，但每个用户都感觉自己是唯一的使用者。这类“分时”运行和另一种“实时”应用（最早的企业实例是航空公司的座位预定），都在持续迅速发展。

20世纪40年代到50年代初设计的第一批电子计算机，以电子管或真空管作为开关元件。当时制造的大部分电子设备，都装有约12个电子管。如果故障之间的平均时间间隔超过数千小时，被视为是可靠的。对于一台元件数目要多上几百倍的计算机来说，这种可靠性水平就令人相当不满了。1953年IBM制造的701型机器，就有4000只电子管，同时代的UNIVAC 1103型机器也有近2000只电子管。这些计算机都已经接近当时的可靠性极限，假若它们大得多的话，恐怕不会有效运行足够长的时间。因此，可以说“第一代”电子管计算机不仅可靠性不够，电力消耗也很多，还得有一个压缩空气冷却系统去散热，这使它们变得体积庞大。

1156

随着新兴计算机工业的兴起，元器件制造业开始受到影响，尤其促进了开关晶体管的发展，这种晶体管是专门为执行开和关这两种状态而设计的。大约在20世纪50年代末，这些晶体管开始应用于计算机中。1956年，贝尔电话实验室制造出第一台实验性晶体管计算机——“小妖精”（Leprechaun）。9年以前，也是这家实验室最早发明了晶体管（边码1118）。Philco、IBM和通用电气公司立即追随，从1958年开始供货销售晶体管计算机。这些新式计算机显示出许多优点，突出表现为可靠性大为提高、耗电量大大降低等。

由包括晶体管在内的分立元器件制成的计算机被认为是“第二

代”计算机，它从1958年持续到大约1964年。但是，半导体的制造厂家在可靠性方面为计算机工业做了进一步的重要改进，把包括晶体管、电阻和电容在内的所有元器件组合在一块硅片上，用于特殊的逻辑运算。这些新型的组合部件也称“集成电路”，消除了计算机制造中的诸多误差。集成电路是严格按照控制的技术要求大量制造并组装到一起的，可靠度像机械工程师使用标准螺母和螺栓一样高。1964年，这种新式的“第三代”计算机问世。

新技术的应用大大降低了计算机的制造成本。在接下来的几年内，大量成本低、功能强的小型计算机被制造出来，其中以美国数字设备公司最具代表性。近年来，集成电路内已经包含有更多的元器件，单个的“集成电路芯片”可以容纳一个完整的信息处理机的全部电子线路。使用大规模集成电路(简称LSI)的“第四代”计算机，大约从1970年开始进入市场销售。现在，计算机的技术发展异常迅速且日趋稳定。

随着集成电路在计算机中的更多使用，它不仅为控制工程师所采用，而且也为其他一些人所采用。这些人发现，采用集成电路代替以前的继电器和电机设备来设计控制系统，可以更方便、更经济。因此，大多数交通信号灯、电梯和机床的控制器，现在都包含原来为计算机工业设计的集成电路逻辑。

1157

至此，我们已经讨论了在计算机自身(称为“主机”)设计与制造中所使用的技术，但人们很快就认识到，这些仅仅是全部必要条件中的一部分。为了获取信息，并将信息反馈给用户，计算机还需要一些设备。这种“外围设备”最初是从电报工业中借用来的，例如电传打字机，以及来自穿孔卡片的会计计算器。此后，高速打印机、磁带走带机和磁盘等较大的专用计算机外围设备都被逐渐设计出来。随着新型集成电路的发展及其在计算机主机中的应用，外围设备在系统总经费中所占的份额也逐渐增长。

为使计算机从事某一专项任务，制备指令程序的费用不菲。如今，在任何新的计算机系统中，这类程序往往是花费最高的。计算机制造商试图通过对机器提供标准程序的办法，承担必要的“内务管理”任务，诸如外部设备中特殊部件的控制，或将计算机各个部件分配给不同的程序，来减少程序设计（“软件”）的费用。这就成为所谓的“基本软件”，其中最重要的部分是负责管理和控制计算机操作的“操作系统”。

此外，人们设计出了辅助软件，它通常也是由计算机制造商提供给用户的，以便用户更容易地用一种包含常用数学符号和混杂英语的语言来编写自己的程序。辅助软件能够使以这种语言编写的程序自动地转换成机器可识别的形式，这一程序称为“编译程序”。20 世纪 40 年代后期，美国海军的霍珀（Grace Hopper）提出开发程序设计语言，它直接具有两大优点。第一，简化了为计算机编写程序的工作，从而减少了程序员所花费的时间以及失误。第二，在理论上，如果两台机器对一种特定的程序语言都有一样的编译程序，为一台计算机编写的程序就可以移植到另一台机器上。遗憾的是，这个愿望还不能实现，因为主要语言还没有完全标准化。

1158

尽管有了这些发展，与计算机系统有关的软件费用仍然在稳步增长。不过，随着新技术的出现和产量的上升，硬件成本在逐步下降。20 世纪 50 年代初，软件费用占全部系统费用的 5%到 10%，到 1970 年则达到 70%左右。由于计算机硬件的费用持续降低，如果能够得到较便宜的软件，低效率地利用硬件也是可以接受的。

电子计算机发展所带来的“信息革命”浪潮里，最有趣的进步是朝着分散化和满足个性需求的能力方面演化，这是与批量生产方向相反的发展。由于大规模制造标准化的元件，批量生产已经降低了成本。原则上，计算机允许生产过程达到对个别元件可以专门定做的程度。这不仅适用于制造业，也适用于售后服务。世界经济合作与开发

组织（O.E.C.D.）在《电子计算机》(*Electronic computers*)[4]（1969年）的报告中写道："计算机进入教育领域，表明在教育系统中同样可以获得个性化的成果，就像在某些制造业中所得到的那样。计算机辅助教学和教学机的发展，正在使一种个性化的'专门教育'在理论上成为可能。在古代，只有特权阶层才能得到自己师傅的专门教育，而现在所有的学生有朝一日可能都会从中获益……"

48.1 计算机器

计算机器的最早形式是算盘，它是计算者的一个记忆助手，类似一张纸和一支铅笔，并不是真正的机器。然而，值得注意的是，中国的算盘（拼音为Suanpan）——在日本称为Soroban——是按二五混合进制的数字系统工作的，计算者能以惊人的速度使用它们。1946年11月12日，士兵伍德（T. N. Wood）被选拔出来，作为驻日美军中使用台式电子计算机器最熟练的操作者，与使用算盘的邮政省的松崎清（Kiyoshi Matsuzaki）进行了一场比赛，结果速度和准确度均不如对方。一份美国报纸报道说："历史悠久的算盘战胜了美国政府正在使用的最新式的电子计算机器[5]。"事实上，由于算盘准确、高速和费用低廉，德国邮政局在1927年进行了试用并考虑采用它。

1159

1642年，帕斯卡制造出了第一台真正的计算机器，尽管它还只能进行加法运算。他写道："我向公众提供了一台我自己发明的小机器。使用这台机器，你不费任何气力，就可以独立完成全部算术运算，从而使你从那种用计数器或钢笔所做的费力劳神的工作中解脱出来。"

帕斯卡的机器由一系列凸出的调节轮组成，每个轮子都按1∶1的比例与答数轮或鼓轮相啮合。答数轮在一个盖子的后面，盖子上面有一些小窗，通过小窗可以显示出每个答数轮上的数字。当调节轮旋转并转动答数轮时，数字就依次在窗口出现。每个调节轮上都围有一个固定的环，环上刻有从0到9的数字，调节轮使用起来就像电话的

拨号盘。将小指针拉到停止点，数字就拨入机器中。由于帕斯卡发明了一种传送“进位”的特殊方法，所以当一个答数轮通过0时，它就自动地向它左边的答数轮进一位。帕斯卡认识到乘法进位传送的特殊困难，比方说把1加到99999999上。他采用的方法是安装一个机械装置(图48.2)。当答数轮从0到9转动时，有个凸轮克服重力作用逐渐举起一个爪。当答数轮再次通过0时，凸轮由于重力作用放开爪，并使下一个答数轮转动一个位置。于是，当每个答数轮从0到9

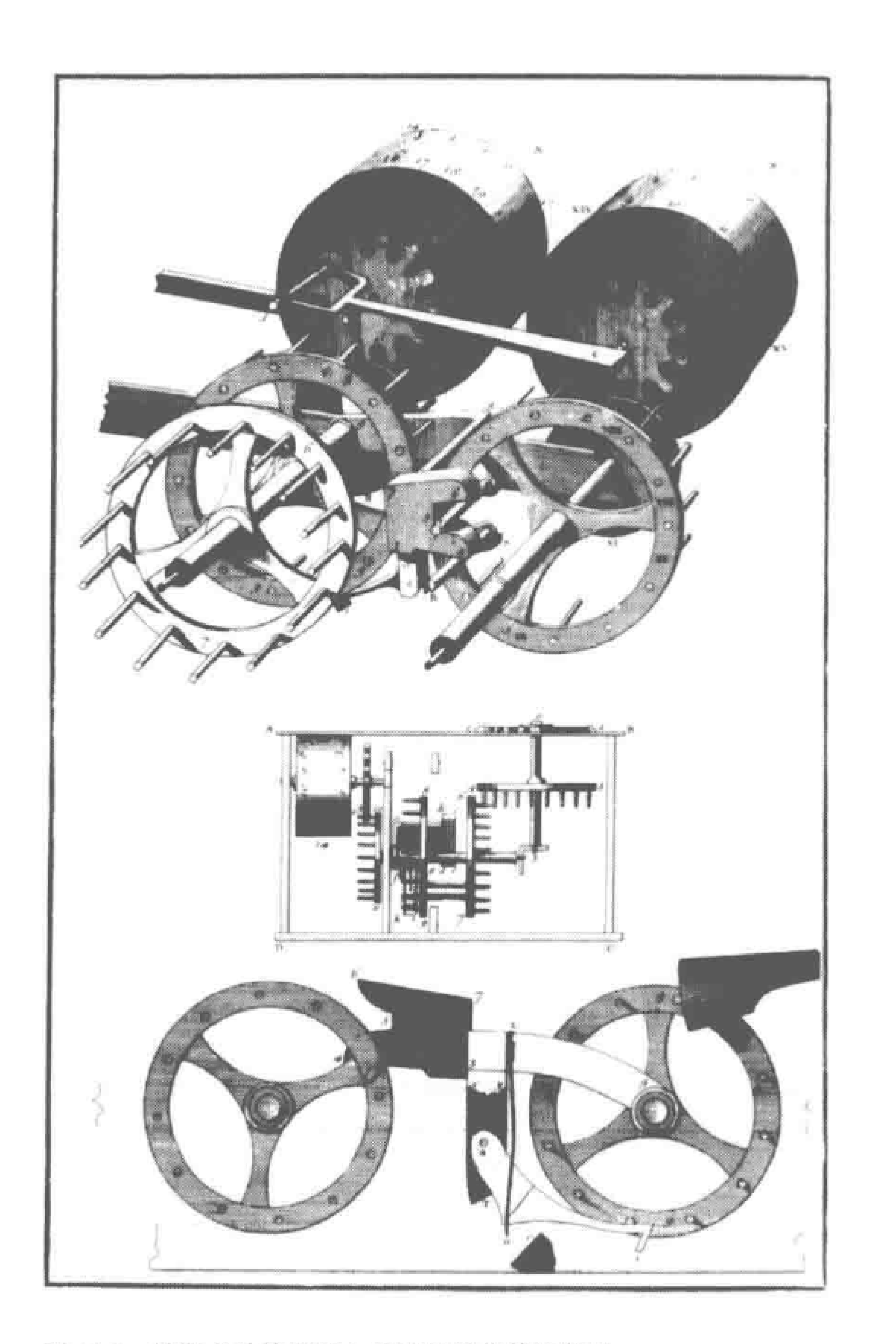


图48.2 帕斯卡计算机器上所用的进位传送装置。

转动时，传送进位所需的能量就逐渐地积累起来。这一原理一直被用于(尽管是用一个弹簧来存储能量)一些现代机械计算机器中。帕斯卡写道："如果需要，一次移动全部一千或一万个拨号盘，就跟使单个拨号盘移动一样容易。"

由于制造困难，帕斯卡的机器没有立即被采用。它的运转也不稳定，调节轮在数字位置之间可能以错误的方式部分地转动。大概因为这些缺点，百科全书的编纂者拉德纳(Dionysius Lardner，1793—1859)在1834年解释巴比奇的发明时，对帕斯卡的机器发表了评论，认为它"在操作中易发生各种错误，同时还伴有微不足道的少许快捷(如果有这么多)，正像由一个熟练的计算员用笔算所能达到的一样"[1]。帕斯卡的机器还曾被别人仿制过。1666年，莫兰(Samuel Morland)爵士制造了一台简单的袖珍加法机，可以处理从1/4旧便士到1万英镑的加法运算，但它没有自动的进位传送机构。1889年，特龙塞特(G. Troncet)在此基础上设计了一台简单的钢针操作的加法机，用扁平的滑板代替了轮子。直到1950年，它的变形产品仍在销售。

1671年，莱布尼茨制造出的第一台备受关注的机器模型，在朝着自动化计算器的发展道路上迈出了重要的一步，它的原理几乎用在了后来所有的机械计算器中。莱布尼茨认识到了帕斯卡机器的弱点，尤其是用于乘法运算时缺点更为明显，如果通过连续的加法运算做乘法，被乘数就必须先存放在寄存器里，再从中陆续把被乘数传入机器的加法计算部分。莱布尼茨还认识到，手工的"长"乘运算，必须先将被乘数与乘数的每位数依次相乘，再将各部分的积相加，才可得到最后的结果。

采用帕斯卡加法机的原理，莱布尼茨发明了一种方法，即依靠轴的单独转动来旋转调节轮，转动次数显示在被乘数的寄存器上。先是采用伸缩齿轮(后来被加以彻底改造)及其他机械装置，后来采用现在称为莱布尼茨轮的具有步进齿的圆柱体(图48.3)。

这种机器设计为对最大被乘数的每一位数都提供一个莱布尼茨轮，并且这些轮子都啮合到一根主轴上，所以主轴单独转动一次就能带动所有的轮子旋转。每个莱布尼茨轮在其半个圆周上有9个齿，第一个齿转动圆柱体长度的9/10，第二个齿转动8/10，最后的第9个齿仅转动圆柱体长度的1/10。机器加法运算部分的“调节”轮有10个齿，沿一根轴与步进轮平行的方杆做自由运动，并由方杆驱动答数轮。根据调节轮在方杆上的位置，它与步进轮上0到9不同数目的齿数啮合。

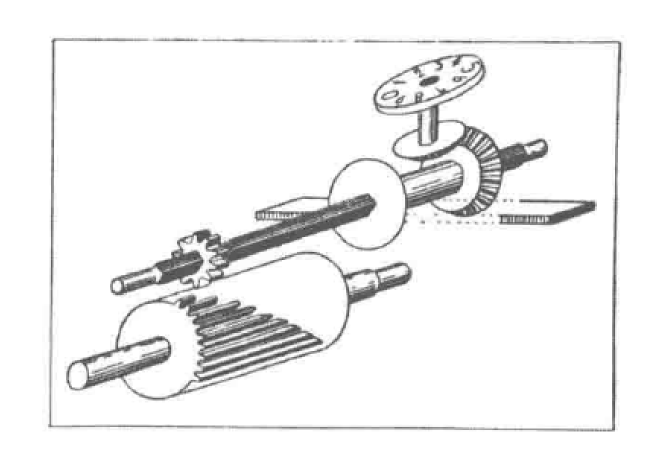


图48.3 莱布尼茨步进轮。

当莱布尼茨步进轮旋转一整圈时，十齿调节轮的转动量会随着十齿轮在方杆上的位置而变化（答数轮也是如此），即由与其相啮合的步进轮的齿数决定。被乘数的每个数字都设置在旋钮上，旋钮使调节轮沿其轴滑动到某一位置，以便与步进轮上特定的齿数啮合。当主轴旋转过一整圈时，放置在被乘数寄存器中的数就被加到总数中去了。主轴再转一圈，再加被乘数，答数轮则显示了2乘被乘数的积。

1162

然而，存在着一个复杂情况。在帕斯卡机器的进位机构中，只有首先把最右边的数字拨到机器中，才能按要求通过答数轮从右向左传递进位。莱布尼茨的机器也能做到这一点，把9个步进齿设置在每个轮子的半个圆周上，另一半圆周则空着。接下来，调整好步进圆柱体的相对相位，以便通过旋转主轴，首先做被乘数的最右位数字的加法，然后逐次做其他数字的加法，每次进位传到它左边的答数轮上，跟该轮的数字相加并不冲突。

在上述所描述的形式中，每次把被乘数加到结果寄存器中，都需要主轴旋转一次。为了让两位或更多位的数相乘，而不必使轴转动一

个大到不切实际的次数，一种简易装置被设计用来计算被乘数的10次幂，再加到结果中去。这个过程是通过一个滑架相对应于答数轮移动十齿调节轮来实现的。如果使滑架向左进一位，代表被乘数最右位数字的十齿调节轮，就约定显示为结果寄存器的十位数，从而使10倍的被乘数也加进结果中。通过转动手柄多次，20、30、40……90倍的被乘数都被加到结果中。当然，为了给结果寄存器留出显示乘积的位置，必须提供比十齿调节轮更多的答数轮。

使用这类机器，对于乘数的每一位数字，不需要主轴旋转多于9次。莱布尼茨专心制造尽可能自动的机器，试图设计仅需转动操作手柄一次，就能使主轴旋转适当的次数，旋转次数则由机器上的乘数数字装置指示。通过链条实现了将9个齿轮连接到主轴上，它们之间的齿轮传动比为1∶1，1∶2，1∶3……1∶9。这些在一根公共轴上的齿轮用一个操作手柄来转动，乘数所需数字的选择使特定的“乘数轮”紧扣到主轴上。这样，当操作手柄转动一次，主轴就能转动所需的次数。

1163

事实证明，在17世纪要制造这种复杂的机器（图48.4）是不可能的。虽然像我们将看到的那样，19世纪与20世纪期间，作为先进的精密制造技术，莱布尼茨首创的原理才被加以采用，但是他确实成功地制造了若干种不同的机器，其中的一台收藏在汉诺威。就是在汉诺威，莱布尼茨将生前最后40年花在照料不伦瑞克家族的藏书楼，还为统一天主教和耶稣教的教堂规划了宏伟的方案。

最先被大量制造并广为使用的计算器，由阿尔萨斯的科尔马在1820年前后设计出来，起初在法国和德国应用，制造困难，使其发展缓慢。直到20世纪30年代，这种“四则运算器”（图48.5）还在继续生产。它的设计与莱布尼茨机器类似，但做了一些改进和简化。莱布尼茨步进轮的齿在循环中对十齿调节轮不起作用时，便有专门的凸轮锁定十齿调节轮。另外，设计有成套的凸轮保证答数轮有效运转，

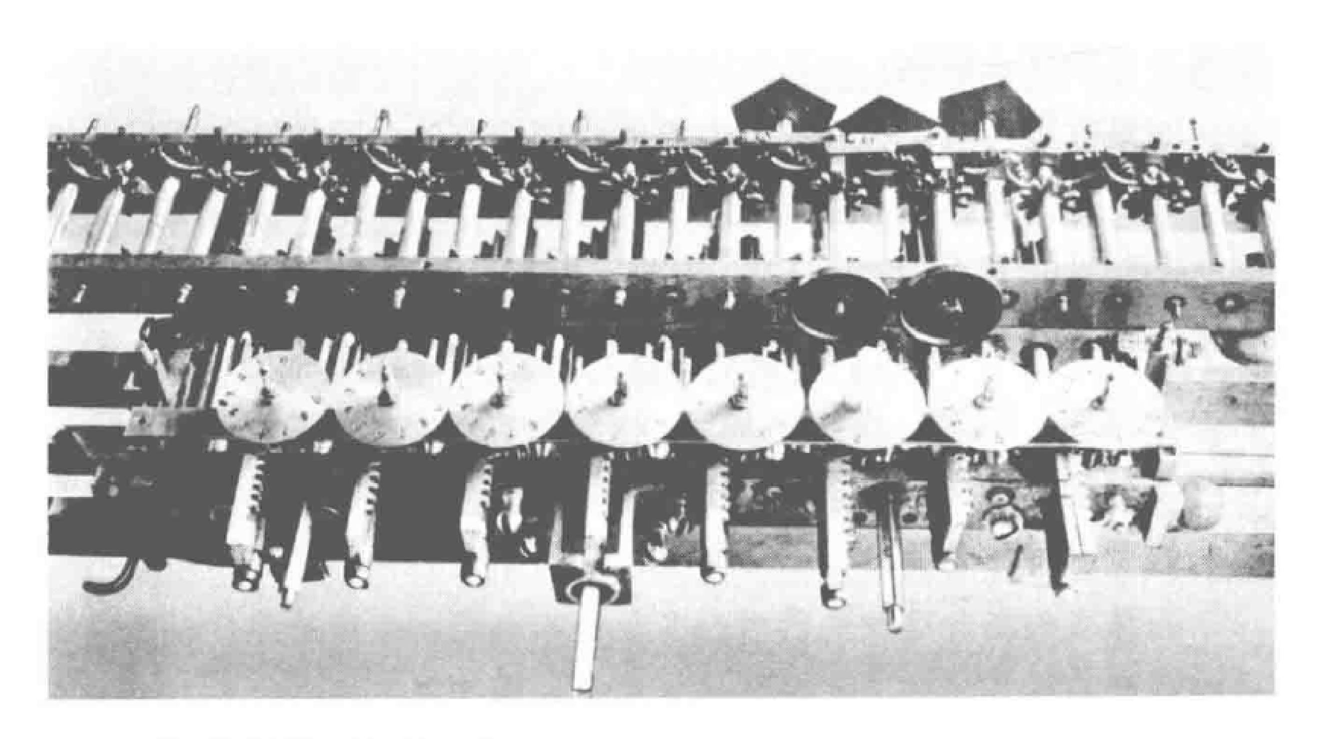


图 48.4 莱布尼茨计算机器中的机械装置排列。

指示数字位于窗口正中时，答数轮才会停下来。科尔马没有采用莱布尼茨的“乘数轮”，因而对每个乘数数字，操作手柄必须转动多次，最多可达 9 次。然而，为了防止操作者忘记计算手柄转动的次数，他还给手柄提供了一个“乘数寄存器”，就安装在结果寄存器或乘积寄存器的下面，很简便地记录了操作手柄在滑架每个位置上转动的次数。操作完毕时，调节寄存器保存被乘数，同时乘数寄存器存入乘数，结

1164

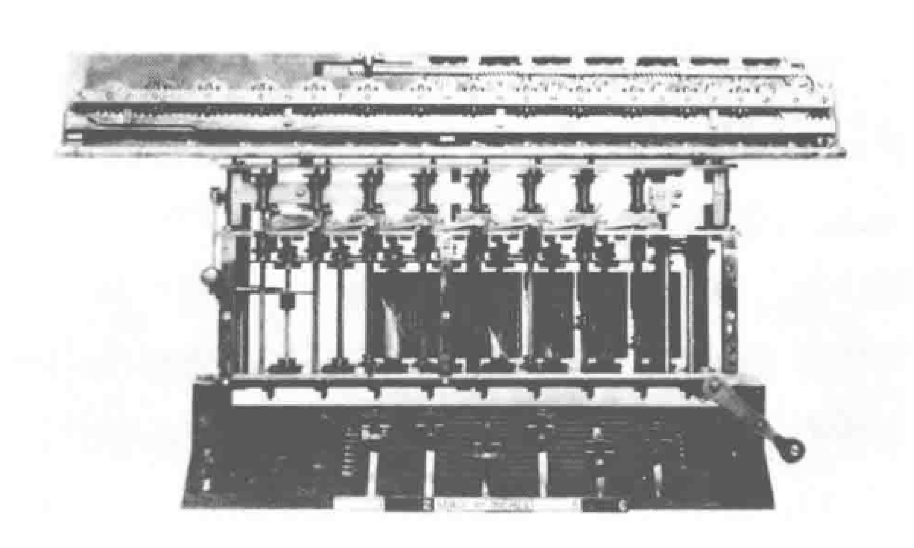


图 48.5 科尔马计算机器内部的步进轮。这些机器一直制造到大约 1930 年。

果寄存器则存入乘积。

如果改进机器，设计一种专用齿轮使调节轮和答数轮进行反向相对运动，进而通过被乘数减少结果寄存器的计算结果，机器便具有了减法和除法运算的功能。1870 年前后发行的一份活页印刷品中，谈到了四则运算器的用户范围：

这种机器主要服务于天文学家、几何学家、建筑师以及从事数学研究的所有科学工作者。

如果我们断定这种机器对大多数铁路公司、帝国造币厂、巴黎的帝国储蓄和寄存银行、克勒佐钢铁厂以及数量巨大的公有和私有企业都能给予日常服务的话，那么一般商业人士，特别是银行家、啤酒酿造商、股票经纪人、国有铸币厂、公司法人等，将会从计算机使用中获得最大的帮助。

四则运算器被声称能在 18 秒内做两个 8 位数的乘法，24 秒内能做一个 8 位数除 16 位数的除法，1 分钟内能对一个 16 位数求平方根，这些都已经得到了认可。多年以来，四则运算器一直处于实际垄断地位。到了 19 世纪后期，制造上的问题渐趋缓和，许多模仿者纷纷涌现，并且引进了一些全新的设计。

1872 年，美国的鲍德温（Frank Stephen Baldwin）发明了一种可替代莱布尼茨步进轮的装置。几年后，在鲍德温设计的基础上，奥德纳（W. T. Ohdner）制造出了现今所谓的“奥德纳轮”装置。对于最大被乘数的每位数，都在机器的主轴上装备一个奥德纳轮，并随主轴一起转动。每个轮子由两个同心环组成，内环能在外环内转动，外环直接固定在主轴上，借助伸至外环外的一个调节杠杆，能使内环的位置移动。如图 48.6 所示，内环具有一个铣制的槽，因而根据内、外环的相对位置，0 到 9 之间不同数量的齿就能凸穿出外环。调节杠杆有

用数字编号的弹簧定位装置，当调节杠杆处在该位置时，可由定位装置指示凸伸的齿数。当装有奥德纳轮的主轴旋转一圈时，凸齿就与十齿调节轮相啮合，这类似于莱布尼茨和科尔马机器的原理。于是，设置在调节杠杆上的被乘数就被加到结果寄存器中。装备的乘数寄存器，也与科尔马机器上的类似。

包括布伦斯维加机器（图 48.7）及其他型号的机器，奥德纳型计算机的优点主要表现在进位机制的许多改进上。每一个奥德纳轮都有两个辅助齿，都是直接在十齿调节轮上完成进位运算。主轴顺时针方向旋转时，一个齿进行加法运算；主轴逆时针方向旋转时，另一个齿进行减法运算。作为补充的这两个齿，由于不在同一平面上，与十齿调节轮并不能进行正常的啮合。然而，每一个齿都有一条瞬时作用的铰链能使它们移动，从而保证了与十齿调节轮的啮合。低一个数位的十齿调节轮通过从 9 到 0 的位置时，致使杠杆运作，进而将进位齿推至进位位置。进位实现后，主轴旋转再使进位齿返回到原先的位置上。

这种精巧的进位操作的主要优点在于，机器主轴能够沿任何一个方向旋转。这意味着操作者若能熟练地通过最小化手柄转数来安排工

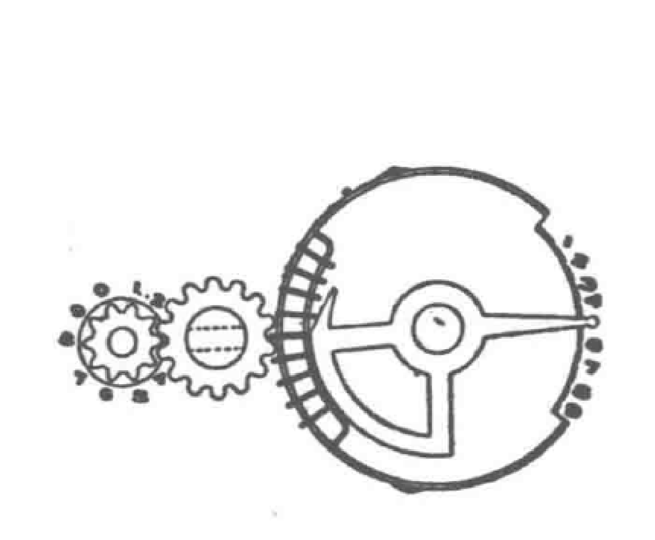


图 48.6　奥德纳轮的构造机理。

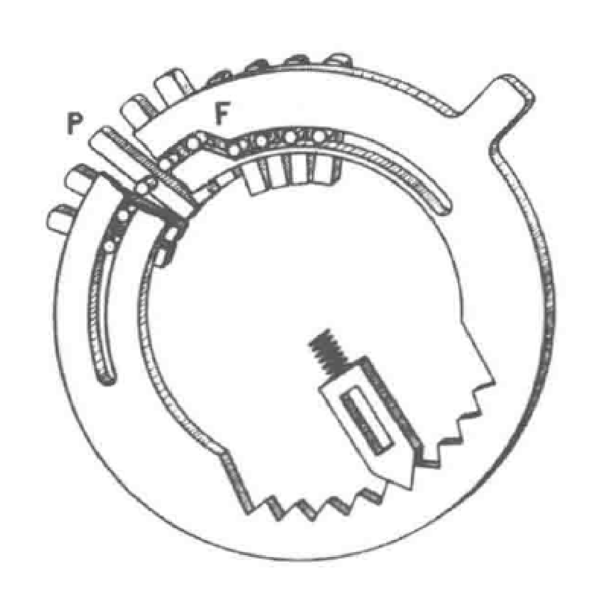


图 48.7　布伦斯维加机器中的针轮结构。

1166 作，便能比用四则运算器迅速得多。例如，乘199的时候，他可以乘200减去1，手柄旋转3次、滑架移位2次即可。但在四则运算器上，比手柄须转19圈，或者将齿轮反转。

奥德纳型计算机的另外一个优点是制造成本低廉，而且比四则运算器结构更小巧紧凑。它的主轴直接由手柄来转动，安装在滑架上的十齿轮则直接固定在边缘刻有表示结果的数字的圆盘上。在1960年左右电子计算器出现之前，这种类型的计算机器被广泛使用，特别是运用于科学计算。

到1930年左右，四则运算器已经绝迹。在电子袖珍计算器出现之前，一种基于莱布尼茨轮的小巧计算器占领了市场。这种称为"柯塔"(Curta)的机器被制成具有单个莱布尼茨轮的圆筒形式，十齿轮聚集在中心圆筒的周围，用滑板固定在圆筒外侧，并与圆筒的轴平行。通过在机器的顶部排列成一个圆形的窗口，可以查看刻度盘上显示的计算结果。

1887年，在博莱(Leon Bollée)原有设计的基础上，苏黎世的斯泰格尔(Otto Steiger)研制出另一种饶有趣味的机器。它简直就是内皮尔骨算尺的自动化变形，使用了一个机械"查找"表，用起来很麻烦，但在当时应用广泛。截至1912年，这种被称为"百万富翁"(Millionaire)的机器销量达到2500台。1910年以后，它也可以用电来操作。

这种机器的滑架上是结果寄存器和乘数寄存器，颇类似于四则运算器。与科尔马机器上的相同，被乘数由在槽内滑动的旋钮来调节，旋钮沿着花键轴转动十齿调节轮。不过，驱动十齿轮旋转的是啮合齿条而不是莱布尼茨轮，齿条受叫作"乘法表数据块"(图48.8)的"查找"表的直接作用。乘法表数据块由垂直的金属板构成，上面装有成排的水平尺杆和长度参差不齐的衔铁。每排能装18根尺杆，排列交错的尺杆和齿条的末端成一直线，而且每一排尺杆都和一根内皮尔骨

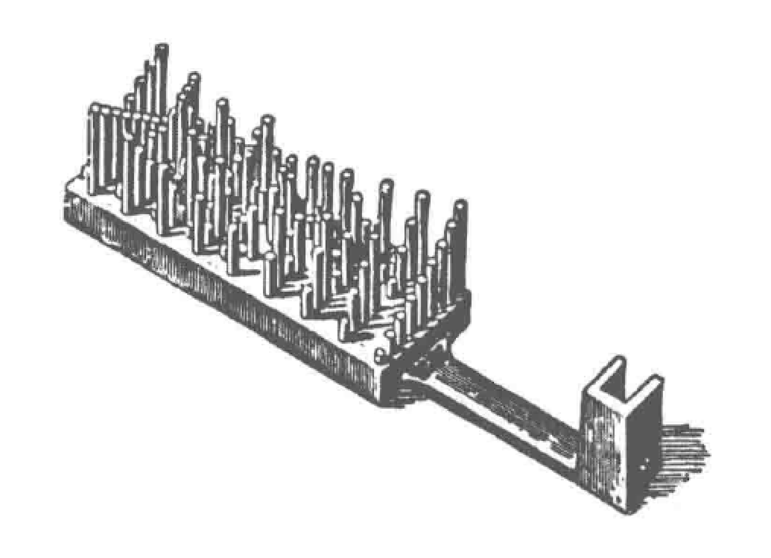


图 48.8 博莱计算机器的乘法表数据块。长度参差不齐的衔铁代表乘法表，也是内皮尔骨算尺的一种物理表示法。查表方法，仍为许多电子计算机所使用。

算尺相对应。最低的一排代表“1 乘”表，紧挨着的一排代表“2 乘”表，依此类推，直到代表“9 乘”表的顶上一排。表中的每个乘积都可由一对相邻的尺杆表示，其中一个表示个位数，另一个表示十位数。所有的尺杆都表示一个准确的数，长度为 0—9 厘米（从金属板处量起）。

1167

调试机器时，把被乘数放置在控制调节轮的滑动旋钮上，并把乘数手柄移动到乘数的最右边。乘法表数据块升高或降低移动时，与乘数手柄上数字对应的一排尺杆就和齿条齐平了。当操作手柄旋转第一个 1/4 圈时，乘法表数据块就向前移动 9 厘米，“个位数”尺杆就推动齿条移动，移动距离相当于每根尺杆的长度。设定每个齿条位移 1 厘米，同时对应的答数轮也移动一个位置。于是，手柄转动的第一个 1/4 圈把乘法表给出的个位数加到结果中，并且传送任何必需的进位。手柄的第二个 1/4 圈，使齿条脱离十齿轮，齿条和乘法表数据块返回到初始位置，滑架随后自动向右移动一步，同时乘法表数据块向前移动，这样“十位数”尺杆与齿条末端齐平。第三个 1/4 圈重复第一个 1/4 圈的顺序，从而把表的十位数值加到结果中。最后的 1/4 圈再次脱开齿条，齿条和乘法表数据块返回至初始位置。数据块也向后移动，

再次使个位数尺杆和齿条齐平。不需移动滑架，通过调节乘数手柄到乘数中的次左位，就能进行连续运算。与科尔马的设计一样，为了进行减法和除法，机器有一个反转的齿轮。加法和减法要求乘数手柄设置在1的位置。

1168 “百万富翁”计算机器(图48.9)明显比四则运算器要快，能在六七秒内使两个8位数相乘，或做一个3位数除以6位数的除法。在18秒内，它能求出一个9位数的平方根，精确到5位小数。

48.2 键盘式计算机器

随着19世纪70年代初期打字机的发展(第V卷，边码689)，尤其是在美国，人们迫切需要用键盘代替滑动片或调节杠杆，将数字输入计算机器。早在1850年，帕米利(J. M. Parmelee)就尝试制造过

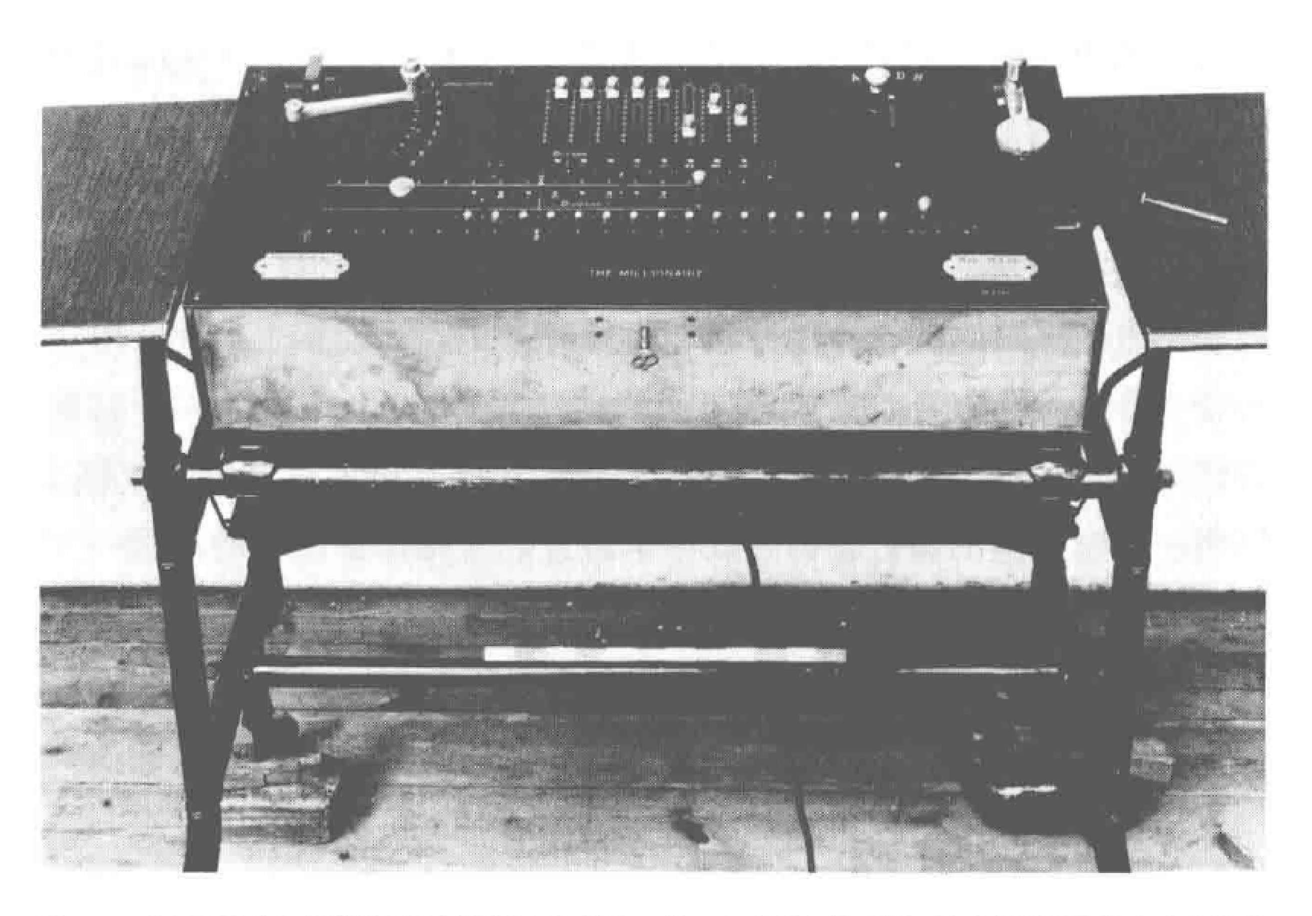


图48.9 “百万富翁”计算机器以博莱原理为基础。第一次世界大战时期，这些机器仍以装有电动机的机型出售。

这种机器，但只能加单列数字，不是很成功。第一台成功的键盘式计算器是由美国人费尔特（Dorr Eugene Felt）设计出来的，把计算机器安装在一个老式的雪茄烟盒中，当时他才20多岁。两年内，他又研制出一台实用的计算机器，称为键控计算机器（图48.10），在1887年前就已经投产。费尔特机器仅能用来做加法，并且是“全键盘”式的，10个键对每个数位从0到9均编了号。通过一个机械联动装置，键盘直接驱动寄存器。为了使十位数的进位计算有效且不发生冲突，这些早期的计算机器要求一次仅能按一个键。1903年，费尔特研究出一个周转齿轮装置，允许在传送进位的同时可以按第二个键，需要的话还能同时操作表示一个数的所有键。



图48.10 安装在木质盒子里的最早的键控计算机器之一（约1890年）。

键驱动的加法机存在着一些问题，主要是机械联动装置的设计要使每个键运动大约相等的距离，并且不管是否需要进位传送，都要用相等的压力来操作它。键必须如此设计，才能避免在部分压力下产生错误的结果，并且必须有一些锁定装置，以便阻止一个键因受激烈的下压而引起答数轮的旋转和运作过度。大多数这种机器建立在键受压的基础上，使一个扇形齿轮旋转一个适当的角度，

与连接到答数轮的一个十齿调节轮相啮合。1889年，费尔特做了重要的拓展，引入了第一台实用的加法列表机，能在计数滚筒上打印结果。

几乎在同一时期，作为银行职员的伯勒斯（William S. Burroughs）正致力于加法机的设计。这种机器不是靠键本身，而是由一个单独的手柄来驱动。首先把数字设置在键盘上，那些操作过的键保持向下的状态，操作员可以有机会检查输入的数字是否正确。只要拉动手柄，数字就加到结果寄存器中。机器还可以打印输入的数字，因而也是一台加法列表机。首批“按键式”机器是1890年制成的，一两年后才趋于平稳可靠，到1909年时应用剧增，年产量可达1.5万台。按键原理也方便配合马达驱动，最早的由马达驱动的计算机器在1906年被采用。银行和中型商行所依托的计算器，正是源于这种类型的机器。会计计算器在第一次世界大战后的几年里发展很快，最后被电子计算机所取代。它实际上是在打字机滑架与制表装置基础上制成的加法列表机，能够打印整页的数字列，而不是在狭窄的“计数”滚筒上打印单列。同时，它又能把若干加法寄存器固定在滑架上，以保存输入到特定列的数字总和。

1170

1914年，奥斯卡和戴维·松德斯特兰德（Oscar and David Sundstrand）研制出了在加法机中输入数字的其他方法。他们的键盘上仅装有10个键，分别表示每个数字，另外还装有一些控制键。而此前，费尔特和伯勒斯则为每个数位提供了9个键的全套装置。松德斯特兰德键盘要求操作员从数的最高位开始，逐一输入数字。键入数字时，滑架上的调节寄存器就逐步移动，操作员能读出数字。全部键入后，再按加法按钮。准确地说，这种机器不是键盘驱动式的，而是按键式的。

伯勒斯发明的新按键技术的应用，很快就推广到能进行所有算术运算的计算机器中。其中，最早的是第一次世界大战之前制成的TIM

四则运算器，它取代了有着全键盘的托马斯（科尔马）型机器的被乘数调节滑动片。与此同时，门罗（Jay R. Monroe）和鲍德温设计了一种崭新的全键盘计算器，并在1922年投入生产。稍后，一种十分类似的机器也被采用，它本质上是一种用10键的键盘输入被乘数寄存器的奥德纳计算器。

所有这些机器都仍然需要操作员转动手柄，或者在装有马达的情况下，对形成乘法的每一次加法运算都按一下马达拉杆。即使乘数寄存器像四则运算器中一样存储了加法运算的次数，也需要操作员这样操作。因此，它的先进程度比不上莱布尼茨的原始设想，也比不上斯泰格尔半自动化的"百万富翁"计算机器。20世纪30年代，台式的机械计算器才达到了最终样式，数值通过键盘输入，两个数的乘法或除法完全可以自动实现。它的关键在于机器中增加了另外一个寄存器，即所谓的控制寄存器。一个数可以通过键盘输入调节寄存器，在较简单的机器上被乘数就存放在这里，然后以乘数的形式将数传送到控制寄存器，接着把被乘数输入调节寄存器。按下乘数按钮时，两个数相乘，机器就自动进行正确数量的主轴旋转和滑架移位。这种机器大多使用全键盘，不过法西特（Facit）后来制造了另一种类型的机器，它有10键的键盘和"不可见"的控制寄存器（对操作者不可见），操作方法几乎与现代电子袖珍计算器相同。

1171

电子计算器 下面简要叙述一下电子计算器发展的有关情况。20世纪50年代以前，实际上还是上述机械型计算器承担了所有的计算工作（下面叙述的适用于穿孔卡片的机器除外）。到了20世纪50年代，通用数字电子计算机开始为人们所普遍使用。然而，新式计算机是非常昂贵的，所以机械式机器持续使用了相当长的一段时间。但是，新的电子技术已经逐渐应用在一些计算器的设计中。由在英国国家物理实验室从事ACE电子计算机研究的克里茨（N. Kritz）研制出来的安妮塔（Anita），就是最早的电子计算器之一。新的电子

计算器的出现，还得益于战争期间（与原子弹计划有关）用于核辐射计数器的数字显示装置的研制，安妮塔就是用氖显示结果寄存器中的数字。它由 Sumlock 键控计算机有限公司制造，1961 年投产，在最后一种机械式计算机投入应用后不久便被采用。20 世纪 60 年代，电子计算器继续发展。截至 20 世纪 70 年代初，由计算机工业产生的新兴大规模集成电路技术的应用以及光发射半导体二极管的研制，使得高速、灵活和极其廉价的电子计算器的大量制造成为可能。

1172

48.3 自动计算机器：计算引擎

上述机器的运算执行，都离不开操作员的辅助工作。即使是形式最先进的机型，也需要人工参与输入数字、指示机器进行下一步工作等。对于任何类型的计算表格，常见的做法是使用数值法，表中任一数值可由前面的数值做重复运算而得到。“差分法”就是最常用的方法之一。

假定一个数表中对 x 的不同数值给出其函数的值，两个区间的 x 值之间的差值是常数。对应两个区间 x 值的函数值之差称为一阶差分，两个前后相继的一阶差分之间的差称为二阶差分，依此类推。现在可以证明，如果函数是一个 n 次多项式，那么第 n 阶差分是一个常数。例如，对于一个三次函数，三阶差分就是常数；对于一个四次函数，四阶差分就是常数；等等。因此，若给定了常数差分值和表中的最初几项，就可以通过简单的加法求出下一项，重复运算可以逐步建立起一个完整的表。

以表 48.1 为例，可以清楚解释用差分法计算表达式 $y=x^2+x+41$ 的过程。

表 48.1　表达式 $y=x^2+x+41$ 的差分法计算过程

x	y	一阶差分	二阶差分
0	41		
1	43	2	
2	47	4	2
3	53	6	2
4	61	8	2
5	71	10	2
6	83	12	2
7	97	14	2
…	…	…	…

可见，当 x=8 时，y 的值以及我们所要的更多项都可以把二阶差分常数加到最后一阶差分中依次计算出来。先得到新的一阶差分，然后再将其加到上一个函数值中，从而可得到新的函数值。

1173

2+14=16 和 16+97=113，这就是要记入表中的下一个数值。虽然这一方法在数学上只对多项式有效，但是在 x 的值域内，任何函数都能够按要求精确地近似为一个多项式。因此，差分法可以应用于计算各式各样的表。

巴比奇认识到了这个原理，由于差分法只要求一系列等级式的加法运算，他便开始了多路加法机的设计，并称其为“差分机”。巴比奇用两年时间制造出的第一台机器，其实是一个实验性模型。1822 年，他向皇家天文学会宣读的一篇论文中描述了这台机器：“我曾用差分法作为我的机器制造的原理，在刚完成的机器中，我把自己限于使用两阶差分。借助这台机器，我已经重复地构造出平方表和三角数表，以及其中包含许多质数的奇异公式 x^2+x+41 的表。”当时，他才 30 岁。稍后，他写信给当时的皇家学会会长戴维（Humphry Davy）爵士，建议采用他的机器以摆脱重复计算的“过度劳作和令人疲劳的单

调”，从而取代“人类脑力的最低下工作之一”。

巴比奇的说服和疏通工作还是卓有成效的。英国政府非常关注现存数表中的不精确性和新表制定所需的劳力，同意并支持巴比奇制造能计算 20 位数的 6 阶差分的大规模差分机计划。这种机器不仅能计算所要求的函数值，而且能排版，从而避免了排字工人的一些错误，这类错误比计算和抄录的错误还要多得多。1823 年，雄心勃勃的研制工作开始了，50 年后才有了自动排字机和打字机的发明。就在科尔马制造较简单的四则运算器遇到很大困难时，巴比奇正在从事着具有 7 个 20 位数寄存器的计算机器的设计工作。每个寄存器把所存数值依次加到下一个按等级在它之上的寄存器中，末尾的一个寄存器保存了要显示在表中的结果值，并且可以打印出来。

巴比奇从事大型计算机器的设计工作长达 14 年（曾中止过 5 年），花费国家经费高达 1.7 万英镑，尽管依旧渴望，英国政府还是有些逐渐失去了耐心，巴比奇本人却越来越热衷于一个更有抱负的设想——设计一台“分析机”。它将是一台真正通用的自动计算机器，不仅限于差分法，后面我们将会继续叙述。

1174

1834 年，《爱丁堡周报》(*Edinburgh Review*) 报道了巴比奇差分机的有关情况，引起了斯德哥尔摩一本技术杂志的总编兼印刷商乔治·朔伊茨（George Scheutz）的兴趣。3 年之后，他和他的儿子、斯德哥尔摩皇家理工学院学生爱德华·朔伊茨（Edward Scheutz）一道，自行设计出了连同打印装置的一台差分机，能够使用二阶或三阶差分来计算 5 位数的函数，但没有找到买主。当时，朔伊茨还设计了一台可计算到 15 位和四阶差分的较大机器，能够在普通的十进制系统中进行计算，也能调整为混合六进制系统（度、分、秒及秒的十进小数），被用于许多航海、天文学以及三角表格的计算中。整台机器大约有一个“小方形钢琴”那样大。

它显示出15位数运算的答案，机器打印其中的前8位数……而在过程继续进行中，对应每个结果的自变数在特定位置上同时被铅版印刷出来。为此目的，没有什么比……在打印设备的滑动片上放置一块细长的铅片更迫切需要的了。然后，通过旋转手柄（转动手柄需要的力不大于转动小手摇风琴的手柄所施加的力）计算整个表，并用铅浇铸的字模打印整个表格。这意味着，铅条制成漂亮的铅版字模，能够为普通印刷机提供任何数量的清晰铅字印版。

朔伊茨机器以每小时120行的速度工作，并能完成匀称的8位数的铅版打印。为此，1854年在英国举办了展览。在1855年的巴黎世界博览会上，发明者荣获金质奖章。接下来的许多年，机器放在纽约州奥尔巴尼的达德利天文台（Dudley Observatory），供研究用。另一台朔伊茨机器（图48.11）是由伯蒙德西的唐金（Bryan Donkin）制造的，曾用来根据英国户籍总监的记录（含有1838—1854年出生和死亡的人口）计算生命表，现仍存放在伦敦科学博物馆里。在1864年出版

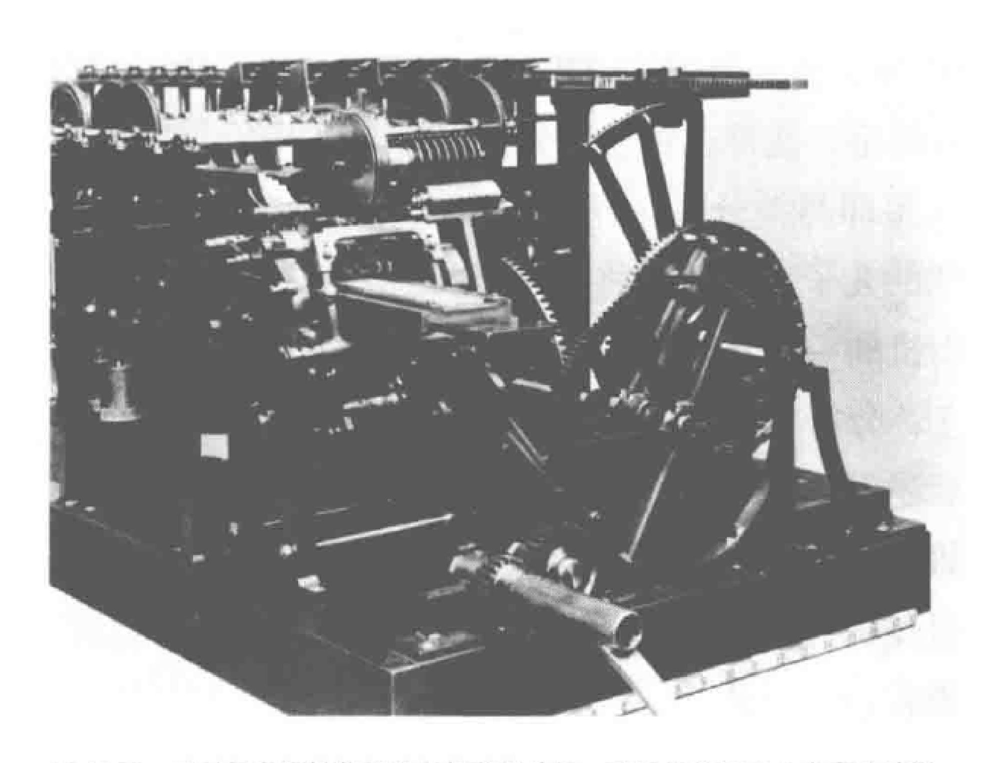


图48.11　展示打印机械装置的朔伊茨差分机。该机器曾用于生命表的计算。

的全表序言中，法尔（William Farr）写道：

> 朔伊茨机器对若干系列表格的计算……提供给我们在英国试验其工作能力的机会。巴比奇先生解释了它的原理，并首次论证了机器在计算和打印结果方面的实用性……这种想法，是它的发明者所做的天才设想，已由唐金先生同样完美地用金属体现了出来，但未曾试用过，所以被人们焦虑地关注。它的运算结果还要靠频繁的调整、平稳而灵巧的操作等，以此帮助这类产品更好地运作。其实，本卷的出版就是其成果。

1175

朔伊茨机器似乎也不是很可靠，但它至少制造了出来。相比之下，巴比奇的差分机仅仅制成了各个部件（现在还存放在伦敦科学博物馆里）。朔伊茨的优点在于，他为自己提出了一个较为现实的目标，还懂得许多打印的问题。巴比奇不仅努力去做一台更大的机器，而且为设计一种十位数的传送方法倾注了大量精力，这种方法会比通常的一位接一位传送更快和更有效。

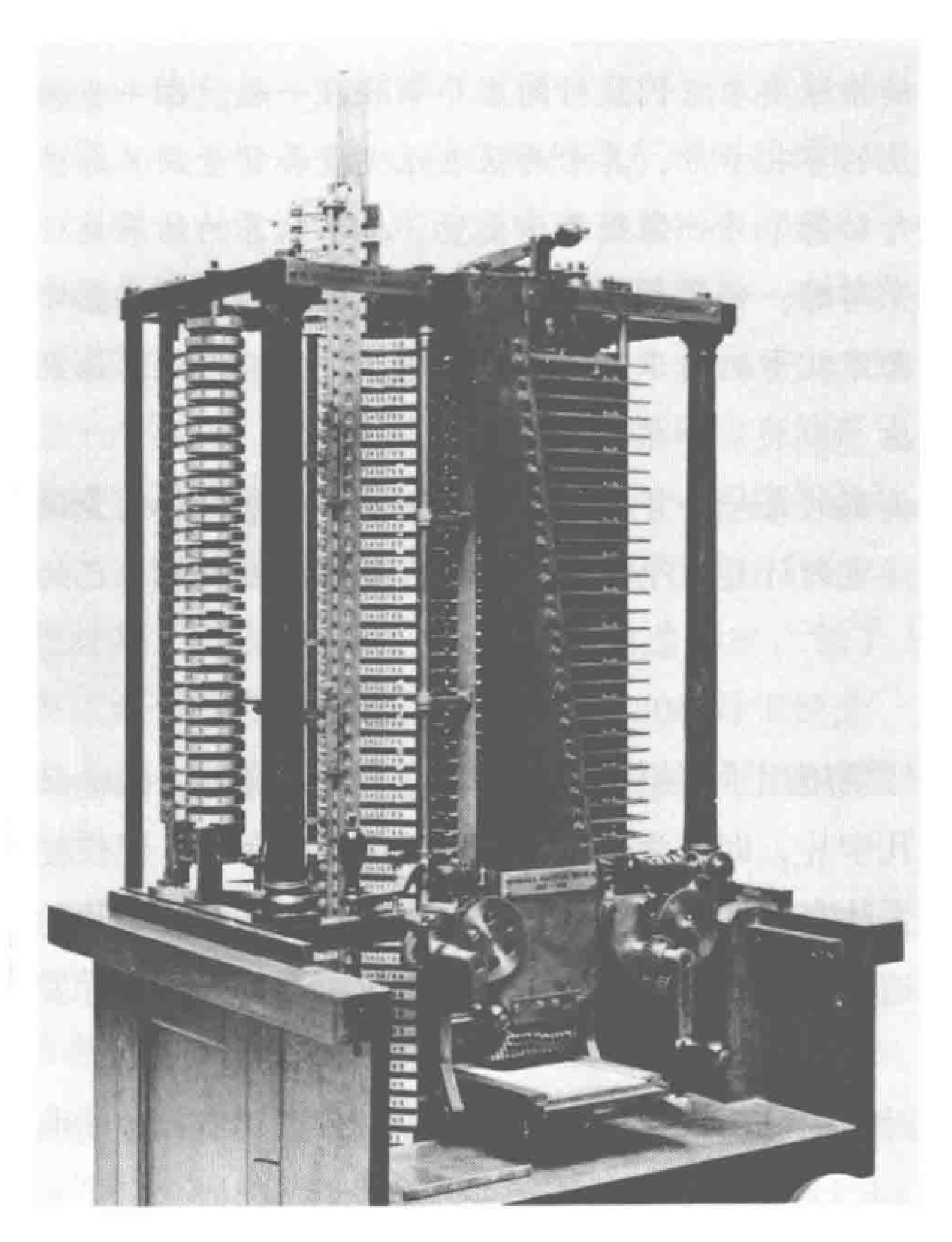
到 1832 年，巴比奇的注意力转向了他的“分析机”。在有生之年的大部分时间里，他都在致力于分析机的设计工作，积极寻求各方面的支持，结果却与差分机一样，从未有产品制造出来。1871 年巴比奇死后，他的儿子、陆军少将 H. P. 巴比奇（H. P. Babbage）成功地制造出了分析机的一部分，如今也存放在伦敦科学博物馆里。

1176

事实上，分析机已经具有了现代电子数字计算机的大部分基本特征。当然，这是从机械上来说。如同对待他的其他项目一样，巴比奇非常有雄心，把分析机设计成全部用 50 位数进行运算，并有一种预先处理进位的方法，让两个 50 位数中所有成对的对应数字同时相加。巴比奇估计，对两个 50 位数的加法，机器可能需要 1 秒钟。但是，对两个类似数的乘法，或者用一个 50 位的数去除一个 100 位的

数的除法，可能要用 1 分钟。

然而，分析机的主要意义并不在于机械装置的独创性，而在于所涉及的一些结构理念。机器由两个主要部分构成，分别是执行四则运算过程的设备（图 48.12）和保存要加工处理的数据及中间结果的存储器。存储器又由 1000 个寄存器组成，每个寄存器可存放一个 50 位数。因此，待处理数据能够从存储器中选取，对它们进行运算（例如它们的相加），并将结果返回到存储器中的另一个存储单元。整个过程的控制是通过一套穿孔卡片来实现的（图 48.13），有点类似于 1801 年



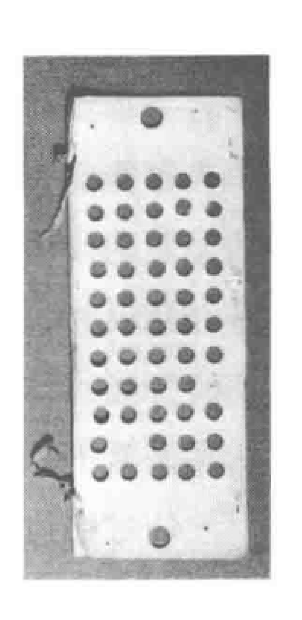


图 48.13　巴比奇分析机中使用的一种穿孔卡片。用窄带把穿孔卡片串在一起，以便编制一个完整的程序。



图 48.12　1910 年左右，由巴比奇的儿子制成的分析机设备。

发明的提花机上（第Ⅳ卷，边码 317）用来编织精致图案织品的穿孔卡片，每张卡片上小孔的图案由穿过卡片的插棒读出。巴比奇提出把穿孔卡片用于两种不同的用途，一种是规定应执行的运算，另一种是给出存储器中操作数的地址。

因此，分析机中有两套卡片，一套用来指示要完成的操作性质——这些称为操作卡；另一套用来指示特定的变量，根据这些变量，要求这些卡片进行操作——这些称为变量卡。

在这种装置条件下，当任一公式需要计算时，含有一系列操作指令的一套操作卡必须按照要求它们执行的次序串联在一起。每一套操作卡都需要 3 张其他的穿孔卡片，其中两张表示变量和常量及其数值，操作卡是按该数值行动的；另一张则表示变量，算术运算的结果是根据它存放的……无论何时，变量都是按指令进入设备中的，这些数字将被引进，并按前面穿孔卡的指示对它们完成运算。然后，运算结果在存储器中将被更换。

1178

针对任何公式编制的每一套穿孔卡片，无论其中的常数如何变化，都能在将来任何时候重新计算这个公式。因此，分析机应具有自己的程序库。

尽管巴比奇曾经期望用手工组装存储所需常数的寄存器，但他又设想使用另一套穿孔卡片，即作为向机器输送数据的数字卡，但仅使用数字卡太大而从无法存储的表中选取特定的数值。所需穿孔卡片的选择可由操作员来进行。如果是一张错误的卡片，机器将报警，并发出“错误”的信号。

虽然大多数同时代的分析机热衷者已经失败了，巴比奇和他的朋友洛夫莱斯夫人（Lady Lovelace）却对现在称为条件转移的概念有了重要认识。通常，控制是由依次读出的穿孔卡片来实行的，但只要提供

一种机械方法，允许穿孔卡片组前进或后退，使得可以跳过一些卡片，或者交替着重复操作，就会大大提高效率。这样一种按顺序的转移控制，由设备中做减法运算的两个数的差值符号来实现。在现代计算机语言中的表示方法如下：

从 A 中减去 B

如果为负，跳转到 XXX

1840—1841 年，巴比奇在意大利参观。在此期间，梅纳布里（L. F. Menébrea）将军和巴比奇进行了讨论，随后写了一篇关于分析机的论文。即洛夫莱斯伯爵夫人奥古斯塔（Ada Augusta）是拜伦勋爵（Lord Byron）的女儿，她翻译了这篇论文并加了大量的译者注释（译稿篇幅比原文长一倍多），这些注释相当于对机器编制程序方法的说明。洛夫莱斯夫人认识到许多计算中存在着指令的递归结构，指出使用所提出的条件转移装置，在分析机中仅需制备一套单独的穿孔卡片就能应付递归指令。这样，所需的穿孔卡片大大减少。她将递归运算序列称为一个循环，并认识到一组这样的循环本身能形成一个循环。她还因此提到了我们现在称为“循环”和“子程序”的概念。

遗憾的是，巴比奇的思想超前了他所处的时代 100 年。他的机械计算机器原本能在 20 世纪初制造出来，结果却没有制成。1914 年，在爱丁堡举办了内皮尔去世 300 周年纪念，莫尔顿勋爵（Lord Moulton）叙述了可能是 1870 年前后他对已老态龙钟的巴比奇的一次访问。

1179

在第一间工作室里，我看到了最初计算机器的一些部件，展示出多年前它们未完成的状态及某些应用。我向他询问了机器目前的进展情况。他回答说：“我还没有完成，因为研究它时，我已经开始了对分析机的思考。我想分析机将能做它所能做的一切，甚至更多。的确，想法就是这么简单，但制成这种计算机器要做的工作，比全面地设计

和构造其他类型的机器还要多得多。因此，我就把注意力转向了分析机。”几分钟交谈后，我们去了第二间工作室。在那里，他向我解释和展示了分析机的各个元件的工作原理，我则问他能否让我看看这种原始机器。他说：“我不会去完成它了，因为我产生了用不同的却非常有效的方法去做同样事情的想法。若再遵循旧方法，就没什么意义。”然后，我们去了第三个房间。在那里零散地堆放着一些机械装置，但我没发现任何使用中的机器的痕迹。我又非常谨慎地触及了主题，同样得到了可怜的回答：“还没有构造出来呐！但我正在研究。要完全建造好，所需时间将比我从把分析机搁置下来的那个阶段开始完成它原本该花的时间要少。”带着沉重的心情，我向老人告别。

48.4 卡片穿孔机

巴比奇的一生都在忙于制造一台比最早的模型差分机更大的工作机器，这些工作虽然没有实际成果，却已经广为人知，并且被很好地记录在资料中，这应感谢梅纳布里将军和洛夫莱斯夫人。然而，向现代计算机的下一步迈进，却来自完全不同的方向。根据1879年的法律建立起来的美国人口普查局，在1880年雇用了统计学家霍尔瑞斯（Herman Hollerith）为当年的人口统计分析做准备。整个统计工作花费了7年半的时间才完成，直到1890年第二次人口统计开始前才出版了最后几卷。美国人口在迅速增长，人口统计结果的手工制表法显然是不适当的。霍尔瑞斯着手使统计工作机械化，决心效仿巴比奇，像在提花机上一样来使用穿孔卡片。他在1887年制造的第一台机器，就使用了一种带穿孔的连续纸带条以取代单独的卡片。但是，为了易于处理，他在首次尝试过后便放弃了这种卡片，转而采用为便于翻出正面而截去一角的3英寸 ×5英寸的不相连的卡片。

卡片是放入“销压机”中读出的，这种机器在卡片上可能出现孔

的每个位置下都有一个水银罐，通过关闭铰接盖阅读卡片，铰接盖上带有一个与水银罐对应的弹簧“销”或插棒。如果卡片上已经穿了一个孔，销就穿过孔与下面罐中的水银产生电接触；如果没有孔，穿孔卡片挡住销，电接触就不会发生。霍尔瑞斯借用由电报机（第Ⅳ卷，边码 656）发展起来的机电技术，使用机电计数器来计算具有特定穿孔的卡片数量，还使用了一个电磁控制的分类槽来分离选择的卡片。这套设备试验了 1 万次来回，所需计数时间是最好的手控系统的 3/4，制表时间则是 1/6。一分钟内，销压打孔机可以通过 50—80 张卡片。毫无疑问，采用霍尔瑞斯的机器分析 1890 年的人口统计数据，结果非常令人满意（图 48.14）。虽然美国的人口已经由 1880 年统计的 5000 万增长到 6300 万，但整个分析过程在两年半内完成，仅为以前统计所花时间的 1/3。

1180

霍尔瑞斯意识到他的机器能有其他方面的应用。为了实现这种想法，他在 1896 年成立了制表机器公司。他还研制出一些改进的机器，包括由数字键盘操作的卡片穿孔机（1901 年），随后很快又研制出各种各样的其他新式机器。1911 年，英国人口统计分析又使用了霍尔瑞斯的装置。在那一年，霍尔瑞斯的公司与制造自动计时器的 International Time Recording 公司、Dayton Scale 公司合并，共同组建计算制表记录（Computing-Tabulating Recording）公司。1914 年，沃森（Thomas J. Watson）成为这家新公司的总裁。1924 年，公司改名为 IBM。

1181

美国人口普查局认识到，1910 年的人口统计必须要有更高速、更高精确度的计算机器，于是任命新泽西州的统计员鲍尔斯（James Powers）为新建实验室的主任，去研制性能更好的设备。与霍尔瑞斯的方法不同，鲍尔斯决定制造纯机械的而不是电动机械的机器。1908 年，他提出了“联立穿孔”的概念，把安放在 20 列卡片上的所有数据同时用键盘输入，然后按下穿孔键，所需的全部孔立刻被打凿出来。

1182



图 48.14 1890 年人口统计的机械化。这是《科学美国人》杂志封面上刊出的几款使用中的机器，其中包括销压卡片穿孔机、分类计数器等。

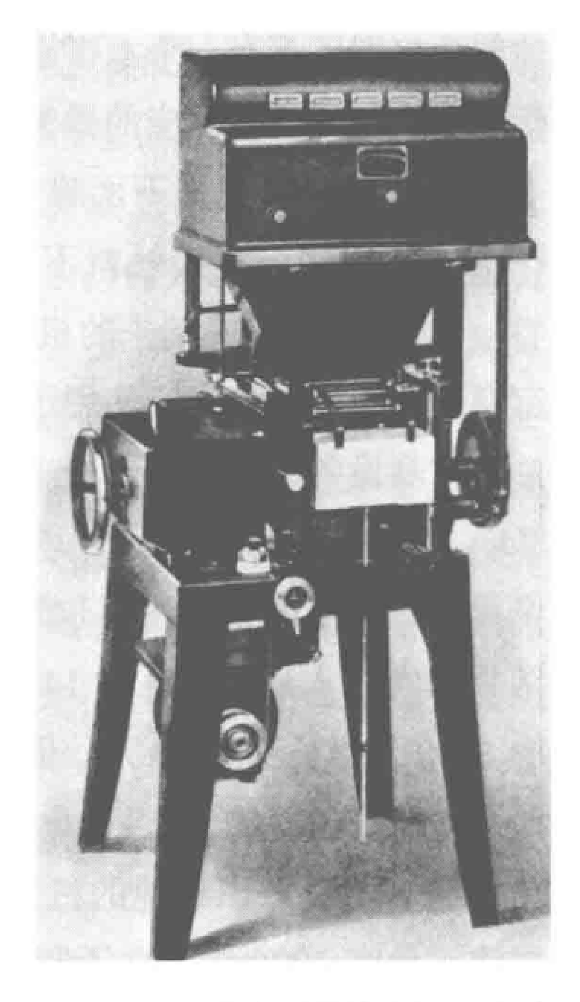


图 48.15 1910 年鲍尔斯的制表机。一叠卡片逐一通过插棒穿孔的读点输入插棒。操作缆索（类似于自行车的制动手闸线），而缆索把漏斗形部件向上传递以操作顶部的 5 个计数器。不同的漏斗形部件都能按顺序把操作信号输送到任一要求的计数器中去。

联立穿孔相当于伯勒斯设计的按键加法机的键盘，允许操作者在操作穿孔机前检查内容，从而避免了部分穿孔的卡片难以进入系统的问题。鲍尔斯还依据机械原理研制出了分类机和制表机（图 48.15），事实证明它们非常可靠。有 300 台穿孔机和相应数量的分类机和制表机投入制造，应用于 1910 年的人口调查统计工作。与霍尔瑞斯一样，鲍尔斯也认识到了所研制的机器的商业价值。1911 年，鲍尔斯计算机公司（Powers Accounting Machine Company）成立。1927 年，这家公司与雷明顿（打印机公司）和办公室设备的其他供应公司合并，

组建雷明顿·兰德(Remington Rand)公司，1955年改名为斯佩里·兰德(Sperry Rand)公司。

由穿孔卡片的两位先驱——霍尔瑞斯和鲍尔斯开创的两家公司，自1950年以来就成了最著名的电子计算机制造商。

两家公司平行地发展了穿孔卡片系统。最初的制表机仅装有计数器(霍尔瑞斯的装置是机电的，鲍尔斯的装置则是机械的)，上面数字在每次运转过程结束时被读取，并被人工传送到一个永久性的记录带上。几年以内，依据上述按键加法机和列表机的同样原理，打印制表机被研制出来了(图48.16)。

霍尔瑞斯公司很快便用一个金属刷取代了具有水银罐的销压机，使得卡片上的孔能触到下面的金属滚筒。触头导线由金属刷通向一个插接板，类似于手动电话交换台，使金属刷能够连接到任何一个电磁计数器上。每个计数器或寄存器都由安装在不断旋转的轴上的一组数



图48.16　1920年，彼得伯勒大北方铁路公司的穿孔卡片室。图中，姑娘们正在给卡片穿孔。远处有几台分类机和一台打印制表机。近处有一台键控计算机。

字轮组成。正常情况下，数字轮保持静止状态。当金属刷检测出孔时，电磁离合器就通以电流，数字轮被锁定在轴上并随轴转动。当卡片通过后，所有的离合器同时断开。因此，数字轮转动的程度取决于金属刷寻找卡片上的孔所需的时间。表示数字的孔间隔有序地成列排放，可以引起数字轮转动特定的数量，适当的排列也有利于数字轮之间的十进位。

1183 卡片穿孔机的下一步发展，显然是还要具备从同一卡片中提取两个或更多的数字进行运算的能力。例如，数字累加后，不仅要把结果打在卡片上，还要打印出来。到 1926 年，鲍尔斯已经采用列表乘法器和计算器，使一些数字及其乘积列成表格。1932 年，IBM 生产出了能让部分乘积求和的更灵活的机器。20 世纪 50 年代，卡片穿孔机时代接近尾声，出现了各种电子计算器用作卡片穿孔系统的部件，其中一些具备自己内部的常数存储器，并能用插接板编制外部指令式的程序，以执行按任何次序排列的加减乘除等预定的运算序列。

48.5 第一代计算机

1871 年巴比奇去世以后，关于自动计算几乎无人问津。但到了 1937 年，情况就不同了。首先，在英国工作的图灵发表了一篇论文[2]，精确地以抽象的术语定义了通用计算机的广义概念，并应用这一定义阐述了可计算问题的准则，讨论了机器通过试错过程自学的可能性。同年，美国哈佛大学的艾肯（Howard Aiken）设想运用卡片穿孔机的工程原理以及自动电话中的继电器类似部件，制造一台巴比奇曾经构思过的那种类型的自动计算机。艾肯看中了霍尔瑞斯机派生出来的机器，为了寻求支持与 IBM 打交道甚多。7 年以后，即 1944 年，艾肯和一个工程师小组研制出了自动程控计算机（取英文首字母，简称 ASCC），随即赠送给了哈佛。

1184

ASCC 的基本原理和巴比奇机器非常类似，尽管技术实现上完全

不同。它还太小，雄心不大。巴比奇曾经决定研制一台存储 1000 个 50 位数的机器，艾肯则满足于存储 72 个 23 位数，外加一个符号位。另外，艾肯提供了含有 60 个常数的存储器，这些常数是在开关上手动设置的。机器还有一个运算器或设备（使用巴比奇的术语），但仅用来进行乘法和除法，它和存储器之间的差别比分析机中的更模糊。利用与穿孔卡片制表机的寄存器同样的电磁离合器系统，加法和减法可以直接在 72 个存储寄存器上完成。艾肯秉承了巴比奇称为“预置滑架”的十进位方法，允许所有的数同时加到寄存器中，接着进行所有的进位。当数字轮通过 0 时，拉杆就自动调节以关闭触头。数字加法完成后，再立即操作离合器，把 1 直接加到左边具有闭合十进位触点的所有数字轮上，然后所有触点回到打开的位置。然而，直到现在，不一定什么地方就会出现一点小问题。例如，已经调到 9 的数字轮却形成一个十进位，从而引起了更进一步的进位，所以要在所有调到 9

1185

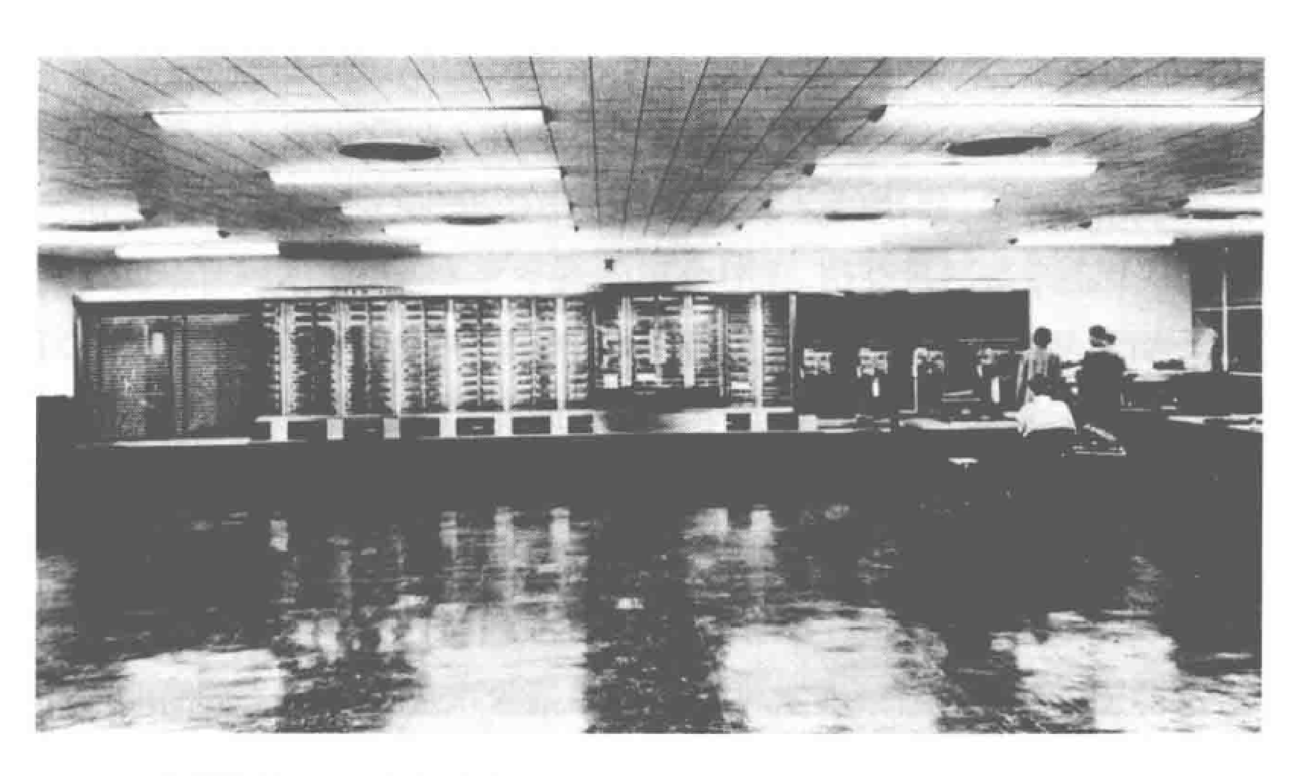


图 48.17　艾肯设计的 ASCC 全貌。图片左边是设置常数值的开关，每组含 30 行，每行有 23 个十位数的开关。开关右边是作为机器主存储器的加法计数器组，安装了能存储 72 个数的 1656 个计数器。再右边是一些乘、除装置。控制台后面有 4 台输入纸带读数器，使用的是像自动钢琴卷轴的宽纸带。最右边是两台可显示结果的电动打字机。1945 年左右，摄于哈佛大学。

的数字轮上安装一个闭合的附加触点。“预置滑架”的工作原理可由下面的例子解释(C 表示闭合的触点，O 为打开的触点)：

当前寄存器的设置	4	9	9	9	9	5
加数	0	0	0	0	0	6
数字和	4	9	9	9	9	1
十进位触点	O	O	O	O	O	C
9 的触点	O	C	C	C	C	O
最后结果	5	0	0	0	0	1

最低位上的十进位触点，可以引起其左边的数字增加 1。但是，由于 9 的触点是闭合的，进位就传送到下一个数字，依此类推，直到一个不是 9 的数字为止。在这里，先行的进位就停止了。

ASCC 的乘除装置像内皮尔的骨算尺一样，是按所建立的一张 1 到 9 倍的被乘数(或除数)表工作的。在乘法中，要选择所需的部分乘积，移到特定的位置，相加得出最终结果。在除法中，过程与笔算“长”除法类似，每步的余数都要和表中数据进行比较，以便找到能给出一个正余数的最高值。

然而，穿孔卡片制表机只能读取穿孔卡片上提供的数据，ASCC 则必须能再读入存储在寄存器中的值。因此，每个数字轮都要有一个刷子和一个十触点的换向器开关，数字轮调整到哪个数值，就决定哪个开关触点闭合。触点和 9 个定时凸轮相连接，与上述霍尔瑞斯制表机的方法一样，凸轮通过所产生的离合器啮合脉冲表示所需的数字。调节继电器中的电通路确定代表加数的信号次序，使两个数简便相加，加数由一个寄存器读出，进入已存储部分和寄存器的离合器。减法运算也是同样的方法，但要加其余数。寄存器中所存储的数，可以用一个适当连接的继电器来自动补足。

数据由穿孔卡片输送到存储寄存器中。顺序执行的操作指令不是由卡片提供的，而是由一个像自动钢琴的卷轴穿孔纸卷不断提供。纸卷的纸带有 24 处位置可以穿孔，每行代表一条可识别所执行操作的单独指令、操作数据的地址和结果存放的位置。输出可在两台电动打字机上打印，或通过在卡片上穿孔来完成。没有像巴比奇所设计的那种从指令序列中退出的装置，以实现循环或条件转移。

ASCC（通常也称为哈佛 Mark Ⅰ）体积庞大，重 5 吨，长 51 英尺，高 8 英尺，并具有 80 万个部件和长达 500 英里的电线。它的性能相当落后，两个数的加法要用 0.3 秒钟，乘法要用 3 秒钟，除法大约要 10 秒钟。然而，这是第一台通用数字计算机，在哈佛大学为各种科学和工程计算日夜工作 15 年之久。接下来，艾肯和他的小组应用特别设计的继电器来代替霍尔瑞斯的电磁离合器的机械计数器，为不同实验室进一步制造了其他 3 种计算机（即 Mark Ⅱ、Mark Ⅲ和 Mark Ⅳ）。1947 年，Mark Ⅱ交付给位于弗吉尼亚达尔格伦（Dahlgren）的美国海军试验基地使用，它仅仅处理 10 位数而不是 ASCC 的 23 位数，但加法时间是 200 毫秒，乘法时间为 700 毫秒。艾肯还提供了 3 个关于程序输入的机械装置，每一个存放着在标准电传打字机纸带（取代自动钢琴卷轴式的纸卷）上穿孔的指令序列，这对于制造更加灵活的计算机大有益处。当正在用的指令序列中设置的某个条件满足时，机器就能按程序工作，将其下一条指令调到另外两条输入带的一条中。然后，这一指令序列中的一个指令就可以回控最初的指令序列。在现代计算机语言中，这被称为“条件调用与返回”。

1187

麻省理工学院电机工程系的研究生香农（Claude E. Shannon）1937 年发表的一篇论文，促进了作为计算机逻辑元件的继电器的应用。这篇关于继电器和开关电路符号分析的论文[6]，将布尔的符号逻辑运用到整个开关电路的分析中，说明了继电器完成逻辑代数的机理。1939 年，贝尔电话实验室的斯蒂比茨（George R. Stibitz）意识到，通

信系统的工程师们在计算复杂数字乘积时花费了大量时间，便着手设计一台机器，试图能够用继电器自动执行这些计算中所涉及的逻辑过程。机器按标准电传打字机的代码接收数据，并以同样的形式提供结果，这样一来，美国任何地方的工程师们都能通过标准电传打字机线路与机器进行通信。在 1940 年的第一次示范中，纽约的机器解决了由达特茅斯学院（在新罕布什尔州）的电传打字机输送来的一些问题，并将答案打印出来作为答复，这是首例远距离计算。从 20 世纪 60 年代中期起，这项技术已经变得非常重要。

继复杂数字机后，出现了其他许多专用计算机，包括二战期间使用的两台军用火控计算机和一台内插机。显然，专用计算机可以用于很多工作。1944 年，贝尔电话实验室接受了一份合同，制造两台工作原理相同的通用计算机。其中，一台在 1946 年 7 月交付兰利飞机场，另一台在 1947 年 2 月交给马里兰州阿伯丁的弹道学研究实验室使用。

贝尔计算机有着一些异乎寻常的性能。它采用二 - 五进制码（正如日本算盘——Soroban 中使用的一样）工作，取代了艾肯所用的普通十进制系统。在二 - 五进制系统中，使用 7 个继电器来存储每个数字，其中 5 个继电器代表 0 到 4 的数字，另外 2 个继电器代表 0 和 5。因此，任何数字都可以通过操作 2 个继电器来表示，一个选自 5 个继电器的那一组，另一个选自 2 个继电器的那一组。每个数字需要两个继电器，各来自一个组，这一事实用作错误检验的判据。机器的所有功能都是由继电器来实现的，继电器既可用作寄存器保存数据，也可用在包括通过重复加法运算来实现乘法运算的加法装置中，借助各种继电器触点间的互连结构，构造机器内部的查找表，从而实现加法运算，原理与博莱设计的机械查找表没什么不同。如前所述，斯泰格尔的“百万富翁”计算机器就是采用了机械查找表。贝尔计算机还有一个新颖独到之处，一切数以浮点形式存储，$\pm x \times 10^{\pm y}$，其中 x 是一

1188

个不大于 1 的 7 位数，y 是小于 20 的任意整数。贝尔计算机的运算时间是加法 300 毫秒，乘法 1 秒，除法 2.2 秒，求平方根 4.3 秒。

20 世纪 40 年代，还制造出了一些大型的依靠继电器运作的计算机器，例如斯德哥尔摩的 B.A.R.K. 机器、伦敦帝国学院的计算引擎等。

48.6 电子计算机

依靠继电器运作的自动计算机器的成功时间非常短暂。1946 年，第一台电子计算机制造出来，演示证明运算速度是最好的继电器计算机速度的 1000 倍。从那时起，发展工作的整个重心都集中在电子计算机上。电子计算机的姗姗来迟，某种程度上是令人吃惊的。早在 1906 年，德福雷斯特（Lee de Forest）就发明了三极管（边码 1095）。1919 年，埃克尔斯（W. H. Eccles）和乔丹（F. W. Jordan）已经阐释了在双稳态电路中连接两个三极管的方法。20 世纪 20—30 年代，电子管得到了巨大改进，广播事业的进步和制造电子管、元件的批量生产技术的应用，更促进了电路系统的发展（第 46 章）。事实上，当时对广播接收机中所使用的热阴极电子管和电路的性能要求，要比对一台电子计算机简单通 - 断开关严格得多。1930 年，将电子管作为开关的唯一应用是温 - 威廉斯（C. E. Wynn-Williams）和剑桥大学的其他同行提出的，他们将其用在计算核粒子的电子线路中。

第一台电子计算机的产生，应归功于战时美国国防部对弹道表的广泛需求。20 世 40 年代初，毛希利（John W. Mauchly）认识到，由于使用了电子计算线路，计算机器将获得速度方面的优势，尤其在气象数据处理等需要大量计算的地方，都要优于现有的计算机器。他和在宾夕法尼亚大学摩尔电工学院工作的埃克特（J. Presper Eckert）一道，按美国政府的合同要求，为马里兰州的阿伯丁试验基地弹道研究实验室设计制造计算机。1946 年，这种计算机研制完成，比艾肯的继电

1189

器计算机ASCC仅仅晚了两年。

这种新型的计算机（图48.18）就是ENIAC，它是电子数字积分计算机（Electronic Numerical Integrator and Calculator）英文首字母的缩写。大体上，ENIAC的工作方式十分类似于ASCC，但具体来说还存在区别。ASCC靠来自凸轮的定时电脉冲工作，ENIAC则每0.2毫秒就有两个电脉冲序列产生。ENIAC的电子门代替了ASCC的离合器，允许所需的脉冲数通过并表示为数字。ASCC的机械计数器在ENIAC上成为一个十进制的“环形计数器”，这是针对核粒子计数而研制出的一种电路，可以说是数字轮的电子等价物。ENIAC的环形计数器由10只相互连接的电子管组成，任何时候都只有一只电子管有电流导通。当电流以脉冲形式通过时，导通的电子管就“断开”，相邻的另一只电子管就导通了。通常，电子管线路中装有一些小灯泡，以表示某一电子管的导通状态，这样用眼睛就能看出计数器上的数字。当计数器上的计数使代表0的电子管导通时，便有一个进位脉冲传送到下一个计数器。

在许多方面，ENIAC比不上ASCC。ENIAC仅有20个电子计数器（或称“累加器”），其中4个要做乘法：2个用来存放因子，另外2个用来累加部分乘积。因此，只有16个单元可用来存储10个数字和1个符号位。另外，尽管手动开关可以使104个任意函数的值实现手工设置，但这是一个漫长而艰苦的过程。乘法运算在一个与乘法表用电线相连的专用装置里实现，原理类似于博莱设计的机械查找表。

ENIAC是通过穿孔卡片来输入和输出数据的，由于读卡和穿孔操作缓慢（一直如此），数据读取和结果输出的时间限制了计算机的运算能力。后来，计算机的发展都在努力解决外围设备和处理器之间的不匹配问题。一旦信息存放到累加器中，ENIAC就能以高速进行运算。存放在累加器中的数，能在机器1个周期0.2毫秒内与另一个数相加。两个10位的数，能在2.3毫秒内相乘（相比之下，ASCC要

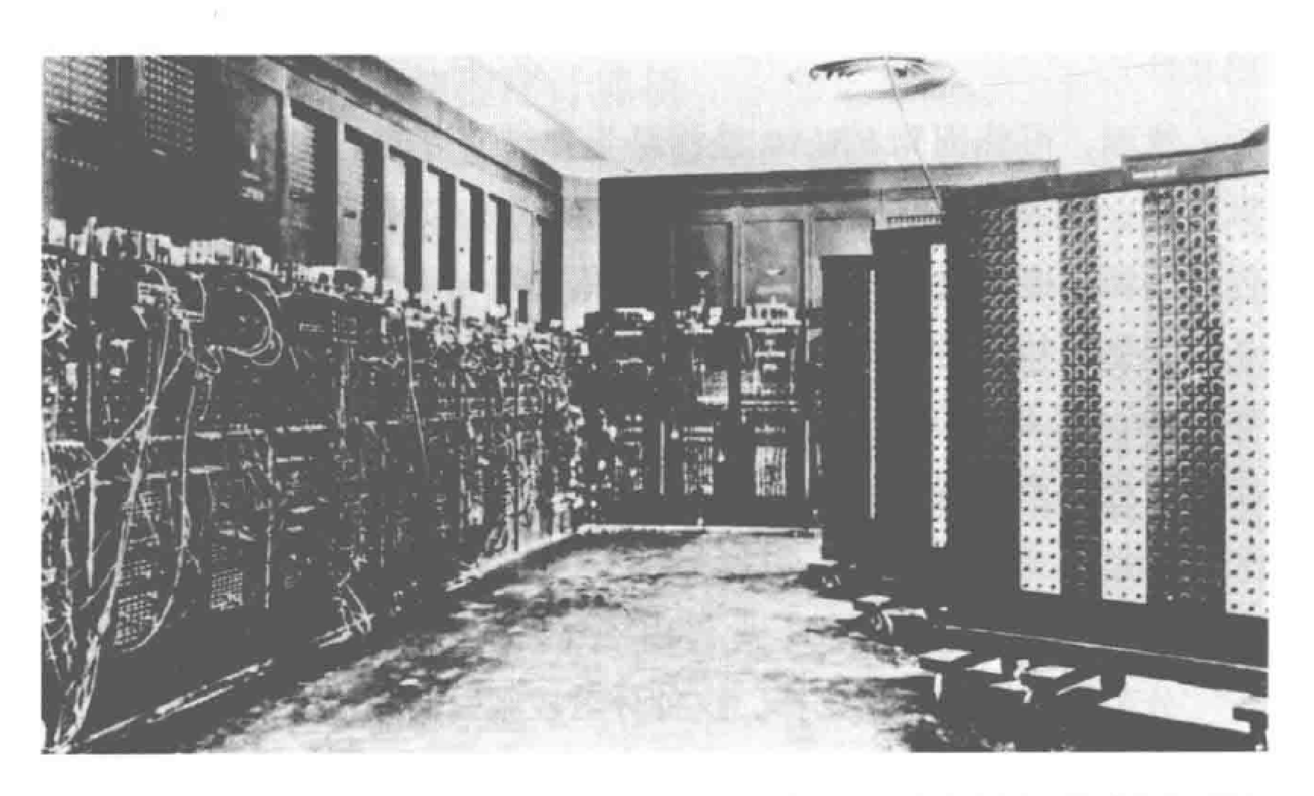


图 48.18（a） 最初的 ENIAC 电子计算机。此电子数字积分计算机的首批任务中包括要解决核物理学上的一个问题。求解过程花费两个小时。而常规方法需要 100 个工程师花费一年时间，才能求解出答案。

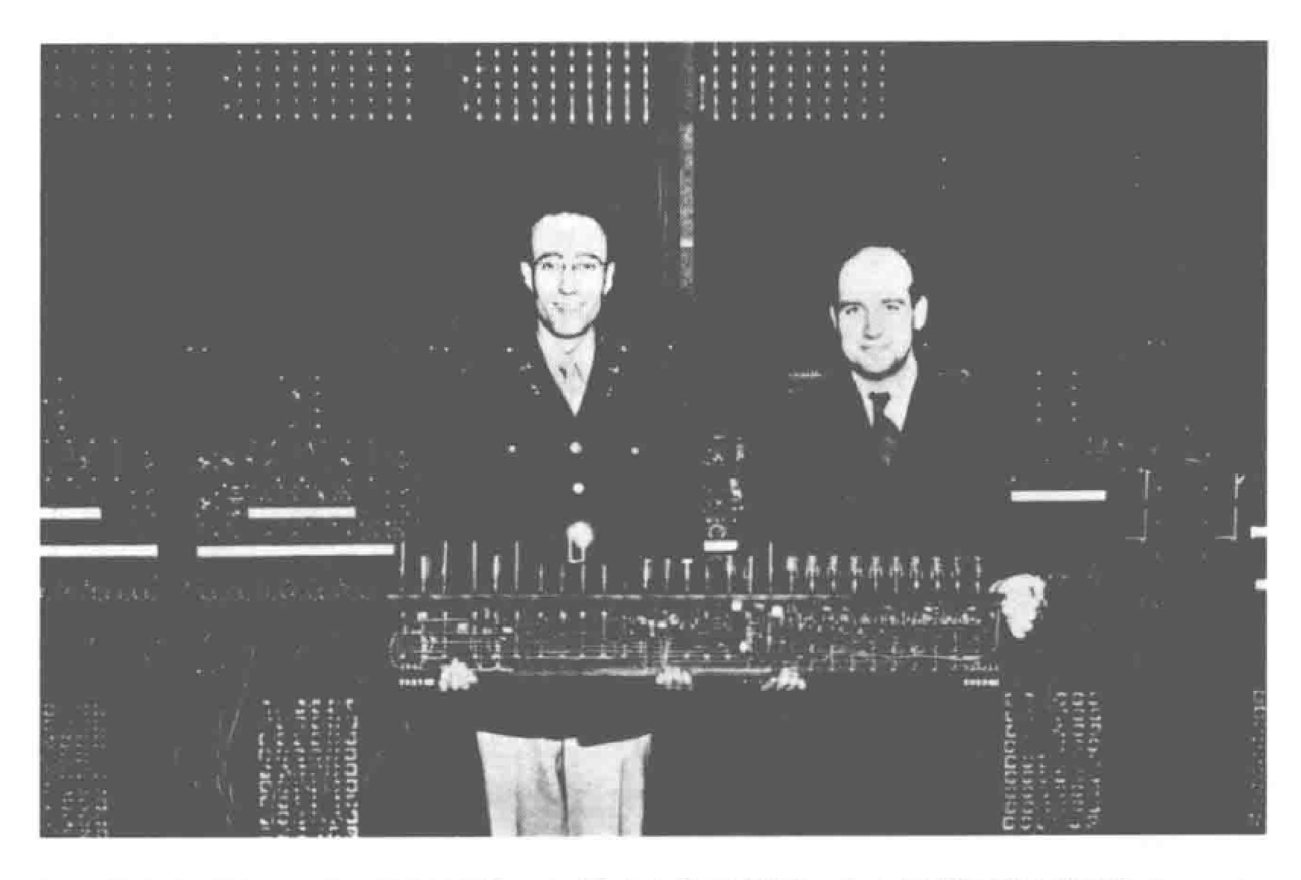


图 48.18（b） 图中，两人手持的是计算机的移位寄存器和计数器。左边穿制服的是戈德斯坦（Henry H. Goldstine），后来他和冯·诺伊曼（John von Neumann）进行了普林斯顿存储程序并行机的研制。右边是埃克特（J. Presper Eckert），他是 ENIAC 的设计者之一。20 年内，他们手中的整块电路已缩小成 1 毫米宽的一块硅片大小了。

用 3 秒）。

1191 然而，可能因为 ENIAC 最初是为弹道研究实验室的特殊目的而设计的，编制 ENIAC 程序的方法甚至和 ASSC 相比都是薄弱的。通过开关和连接导线的手控插头使各种累加器与机器的其他部件相连接，从而编制出执行特殊计算的“程序”。每个这样的装置收到一个“程序脉冲”（或现在所称的“选通脉冲”）之前，都是静态的。操作完成，便产生另一个选通脉冲（通过门控的主脉冲序列而获得），同时通过开关和插头来确定通路，以便提供程序脉冲来激活下一个装置。此外，一个“主程序编制器”允许由预先插入程序序列的 10 个 6 位电子“分节器”开关作出选择。这种分散控制以及通过插入装置完成特殊计算以适应机器的需要，在基本原理上远远落后于巴比奇分析机的完全普遍性和集中控制性。

ENIAC 是一台长 100 英尺、使用 1.8 万个电子管、消耗电力 100 多千瓦的巨型计算机，因此维修困难，程序编制麻烦。尽管有不少局限性，但它终究是一种巨大的进步。ENIAC 一天的工作量，相当于一个人使用 20 世纪 40 年代中期通用的最新台式计算机一年所做的工作。先前因冗长费时而不能完成的计算任务，凭借 ENIAC 的高速度迎刃而解。1946—1956 年，放置在美国国立博物馆的 ENIAC 就一直处于使用状态。由 IBM 制造并安装在其纽约总部的选择串行电子计算机（SSEC）与 ENIAC 的结构颇为相似，两者标志着实验性机器初创时期的结束。其实，与原来的分析机相比，所有这些实验性机器在设计上并无太多发展。1949 年，曾为 ENIAC 做了许多工作的英国数学家哈特里（Douglas Hartree）写道：“未来的计算机在原理和外貌上将有显著变化，小巧且简易，所用电子管或继电器的数量是数千个，而不是数万个……更快，更通用，更易编码和操作。”[7]

48.7 二进制的存储程序计算机

1946 年夏天，摩尔电机工程学院对外展示了 ENIAC。正是在那里，冯·诺伊曼就“电子数字计算机的理论和技术”举办了讲座，其中提到了今天众所周知的计算机结构。年仅 20 岁的冯·诺伊曼摒弃了可以追溯到莱布尼茨“思维规律”的一些见解，把莱布尼茨 1666 年发表的《论组合的技巧》(*De arte combinatoria*) 称为“小男生的文章”。冯·诺伊曼解释说，他正努力创建“一种通用方法，使所有逻辑前提的真实性简化成一类计算。同时，这也是一种通用的语言或脚本，但与至今所设计的那些有许许多多的不同。错误，除了源于数据本身，将全是计算上的错误”。

1192

与一般的十进制记数法相比，莱布尼茨看到了二进制在某些方面的长处，它把思维规律归化成最简单的形式，以及处理所需的算术操作等方面。二进制记数法仅用 2 个不同的符号 (例如 0 和 1)，就代替了十进制算术运算中所用的数字。“莱布尼茨在他的二进制算术中领会到了创造性思维”，大约一个世纪后，法国数学家拉普拉斯 (Pierre-Simon de Laplace) 写道，“他设想 1 代表上帝，0 代表虚空。上帝从虚空中创生了万物，正如以 1 和 0 表示计数系统中的所有数一样”。

19 世纪中叶，莱布尼茨的思想已经被布尔 (George Boole) 所采纳和扩展。冯·诺伊曼在设计计算机的构思中，也运用了这两位前人的成果。他意识到，二进制的优点不仅在于它强调运算机和逻辑机的等价性，还在于从电学和电子学的观点看，完成二进制运算所需的两种状态很容易用开关的开和合、电压或电流的有和无来实现。更为重要的是，冯·诺伊曼认为被巴比奇称为“判断力”(judgement) 的东西有着重大意义，机器应该能够根据所得到的最终结果相应地调整运算过程。如果存储器足够大，能够存放许多指令程序，机器就能按自己的指令进行操作[8]，也能在计算过程中作出相应的改变。冯·诺伊曼的解释如下：

诚然，计算机在自身的指令控制下能够从内存中提取数字（或指令），并进行处理（像数字那样），然后将它们送回内存（原来或其他位置）。这就是说，计算机能改变内存的内容。实际上，这也是正常的惯技。因此，计算机的特别在于能改变指令本身（因为这些指令就在内存中！）——正是这些指令控制其操作。这就可能形成各种复杂的指令系统，指令系统不断地自我调整，从而使同样在其控制下的计算过程也不断调整。

1193

冯·诺伊曼的存储程序计算机的想法，要求存储器的容量比早期自动计算机上使用的要更大。冯·诺伊曼推测，一台存储正在处理的数据及其程序的计算机，可能需要能够存储 1000 个以上数据的容量。问题在于如何提供这种存储器，必须能够从中读出、写入，并在尽可能短的延迟后进入其内部特定的位置。改进的存储器（人们经常称之为内存）的研制，成为电子计算机后续发展的主要任务。

图灵预见到了冯·诺伊曼原理的一些特征，在 1937 年的一篇论文中有所涉及。战时在德国同施赖尔（H. Schreyer）一起工作的楚泽（Konrad Zuse），先是在继电器计算机的设计上，后来又在 1941 年完成的一台电子计算机上，提前使用了冯·诺伊曼原理。楚泽清楚地认识到了二进制计算机的优点，以及逻辑运算和算术运算的等价性。但直到 1947 年，冯·诺伊曼原理才受到人们的广泛关注。

ENIAC 完成之前，摩尔电机工程学院的一群工程师正在研制一台根据冯·诺伊曼原理设计的、使用汞延迟线作为存储媒体的计算机。然而，这台电子离散变量自动计算机（EDVAC）并不是第一台存储程序计算机，因为 1946 年在英国启动的其他三项工程已经先行完成。其中的第一项工程是一台最小的计算机，由曼彻斯特大学的威廉斯（F. C. Williams）和基尔伯恩（Tom Kilburn）设计，并作为试验台用在了威廉斯的阴极射线管储存研究中。1948 年 6 月，它成功地投入

运行。下面我们还将提到它。1949 年初，剑桥大学的数学研究室里，在威尔克斯（Maurice V. Wilkes）的指导下，电子离散时序自动计算机（简称 EDSAC）被研制出来。

EDSAC 可以存储 512 个字，每一个字 34 比特（比特和二进制的一个数字等价，包括具有 0 或 1 值的一“位”数），两端都有石英转换器的长水银管。施加在输入端的电脉冲由变换器转换成声波脉冲，以声速穿过管内水银。声脉冲到达远端的转换器时，瞬间压缩石英晶体，石英晶体则使其变回电脉冲。输出脉冲可以放大，“重新整形”，并再次施加到输入端。这样，脉冲就连续循环，以转换时间为间隔，周期性地出现在输出转换器中。脉冲用来表示所存储的一些字的位，在任何时候，EDSAC 的汞延迟线都载有 512 个脉冲序列，每个序列代表一个 34 比特的二进制数。特殊数的选择是用主时钟对到达接收变换器的脉冲计时，在下一次的 34 个时钟节拍期间选出表示这一特殊数的脉冲来实现的。

1194

由于存储媒体呈串联式，存储的数字由脉冲序列表示，EDSAC 的算术和逻辑运算也是由串联数来实现的。EDSAC 做两个 34 比特数（相当于十进制中最大值为 17180×10^6）的加法需要 70 微秒（1 微秒是 1 秒的百万分之一，或者 1 毫秒的千分之一），两个数相乘需要 8.5 毫秒。然而，速度并不是 EDSAC 最重要的特征，它在程序编制时灵活性极大，可以在同一存储器中同时存储程序和工作数据。因此，正如巴比奇和洛夫莱斯夫人所展望的那样，计算机能对跳转正常的顺序进行判断，或者像冯·诺伊曼设想的那样修改自身的程序。EDSAC 还实现了哈特里关于小规模计算机的预言，因为它只有 3000 只电子管。由 5 孔的电传打字机纸带输入机器中的程序和数据，与贝尔继电器计算机的操作一样，都使用了普通的电传打印机的代码，输出到穿孔纸带上或一台电传打印机上。

1945 年，在图灵的指导下，第三项工程在伦敦附近特丁顿的国

家物理研究所(N.P.L.)启动。N.P.L.计算机的第一种形式——所谓的自动计算机[亦称试验性自动计算机，简写为ACE(Pilot)，以便与8年后完成的更大的自动计算机相区别]，如今就存放在伦敦科学博物馆内。ACE(Pilot)可在1条汞延迟线中存储512个32比特的字，做一次加法需用32微秒，做一次乘法大约需1毫秒。精心设计的ACE(Pilot)可靠性很高，并且仅装有1000只电子管。ACE(Pilot)与EDSAC的主要差别在于存储程序指令的方法不同。EDSAC存储单元中的每一条指令紧跟着前一条指令，依次自动地通过存储器，只有当指令必须调转出序列时，才允许次序颠倒，而且专门有一个称为程序计数器的寄存器，记录下要寻找的下一条指令的地址。ACE(Pilot)则采用了一种完全不同的"双地址法"，每条指令还包含着存储器中存放的下一条指令的地址，程序可能不是有序排列的，而是随机地散布在整个存储器中。

1195

延迟线存储器的优点是所需的电子元件极少，但体积庞大，对温度变化(必须将水银柱保存在恒温控制的密封体中)、噪声和震动都很敏感。还有一种磁鼓存储器，首先由布思(Andrew D. Booth)用在1947年设计的一台继电器计算机中。磁鼓由高速旋转的镀镍圆柱体组成，镀镍圆柱体上装有记录磁头，能磁化环绕在圆柱体上的条带或磁道。因为声音录制的需求，这种技术在德国于二战前，特别是二战期间得到了发展。对应于被存储数字的比特图谱，脉冲序列传给记录磁头，进而转换成环绕磁道的镍的磁化斑片。记录磁头还能用来重放磁道，因为当每一磁化斑片从磁头下穿过时，便有电流产生。1950年以来，布思用磁鼓存储器制造了几台电子计算机。在哈佛大学计算研究室，艾肯也把磁鼓用在了Mark Ⅲ和Mark Ⅳ计算机中。

磁鼓具有3个胜过延迟线的优点，分别是尺寸小、存储量大和稳定。这意味着即使切断电源，存储着的信息也会无损地保存下来。然

而，磁鼓和延迟线两者都有一个主要缺点，总是必须要等到所需的特定信息到达读头或变换器，任何操作甚至整个变换的始末都需要等待时间。

因此，人们努力寻求存取更快的存储器。几个研究者尝试把信息像电荷斑片一样存储在电介质片上，用狭长的电子束射击电介质元件检测是否存在电荷。电介质存储器的优点在于，能够非常迅速地把电子束控制到电介质片上的任何部位。二战期间，雷达显像管的研制为此提供了所需的大部分技术。

1947 年，麻省理工学院的福里斯特（Jay W. Forrester）和黑夫（Andrew V. Haeff）首先发明了使用一种特制阴极射线管的电介质存储器。随后，这种存储器用在了一台快速计算机中。这台名为“旋风”（Whirlwind）的计算机是 1949 年在麻省理工学院伺服系统实验室里研制出来的，使用了 6000 只电子管，可存储 1000 个 16 比特的字，做一次加法需要 5 微秒，做一次乘法需要 40 微秒。另一种很类似的装置称为选数管存储器，是由拉吉曼（J. Rajchman）为美国广播公司研制的。

1196

但是，最实际的解决办法要归功于曼彻斯特大学的威廉斯。1948 年，威廉斯研制出一种在玻璃壳内无须特殊部件的阴极射线管存储器，可以用廉价且大量生产的玻璃管来制造。信息存储于管子表面的 32 条线中，每一条线对应于一个“字”（如我们所知，一个比特图谱可表示一个数字、一条指令，或任何其他的一段信息，因此“字”可用来取代所存的比特图谱表示的“数字”）。只要电子束射向含有待读字的线的始端，无须等待一个完整的循环就能随机选出所需的字。由电荷斑片在玻璃管的表面上沿线存储比特图谱，读数电子束经过电荷图谱时，表征电荷图谱特性的可变电流就由电子束流入一个装在管子外表面的金属板上。

电荷图谱是由同样的电子束“写入”的，电子束运行在不同的选

定条件下，使得电子束撞击过的玻璃管表面留下了一片正电荷。不同电荷图谱用来表示二进制的1和0。如此产生的电荷逐渐耗散，图谱也必然不断地“刷新”。只要电子束不是正用于读出或写入，图谱刷新就是由相同的电子束按顺序一条一条地完成的。

曼彻斯特大学的威廉斯和基尔伯恩把这种存储器用于一台小型计算机MADM中，如前所述，这制造出了一台存储程序计算机。较大型计算机的设计工作也很快开始，其中的两台到1949年已经投入运行。当时，英国的莫尔文电信研究所、加利福尼亚的数值分析研究所、伊利诺伊大学，以及瑞典和苏联等，他们所研制的计算机都使用了威廉斯存储器。虽然威廉斯存储器只是昙花一现，到1956年就已经被磁芯存储器所取代，但它终究是朝着计算机设计新变革的方向迈进的第一步。

冯·诺伊曼首先揭开了这次变革的序幕，并再次反映出巴比奇初始的某些思想，特别是巴比奇关于能即时处理所有数字的算术运算的重要认识。在1946年开始发表的一系列经典报告中，冯·诺伊曼小组对计算机设计进行了分析，指出了“并行”机的优点。在并行机中，计算机字并不表现为某条单独导线上的一个脉冲序列，而是表现为一组导线上的电压，组中的每条导线就表示字中的某一比特。因此，为识别脉冲序列中的一个脉冲存在与否进行精确计时，是完全没有必要的。此外，并行机的构造更简单，运算速度更快。冯·诺伊曼小组在普林斯顿大学的高等研究院制造的新型计算机，就体现了这些原理。它使用能存放1024个40比特的字的改进型威廉斯阴极射线管存储器，在1952年3月制成。由于做一次加法和减法只需花10微秒的时间，做一次乘法只需300微秒，它理所当然地成为当时运算速度最快的计算机。就是从那时起，串行计算机逐渐绝迹。

1197

经过不断的发展，磁芯存储器很快便替代了电介质存储器。它具有电介质存储器快速存取的全部优点，而且价格低廉，易操作，性能

更可靠，存储量更大，每次可输出一个完整的“字”，每个比特出现在各自的导线上。因此，磁芯存储器与冯·诺伊曼的并行二进制计算机在观念上是一致的。

磁芯存储器的发展涉及很多人的工作，麻省理工学院伺服系统实验室的福里斯特就是首先将磁矩阵变换环路用作存储器的研究者之一。每圈磁化环路表示1比特，其值取决于是顺时针还是逆时针方向被磁化。存储是不易丢失的，因为一旦环路在某一特定方向上被磁化，只要方向没有变化，它们就一直保持着，即使电源断开也是如此。磁芯存储器性能稳定，唯一的问题是一个环路的磁化方向只能靠改变磁场来确定。因此，每次从存储器读出一条信息，它就被破坏了。如果还需要进一步参考，就不得不再次引入新的环路。

磁芯存储器的经济性源于它的矩阵结构。磁化环路或磁圈排列成行和列的点阵图形，传输电流脉冲的一根导线从每列的下面穿过，另有一组导线沿着每行穿过。为选择一个特定的环路，可在沿其行穿过和在其列下面穿过的导线上通以电流脉冲，但这些脉冲仅靠其本身并不足以改变环路的磁化。但当在所选择的环路内这些电流脉冲一起抵达时，它们的联合作用就能改变磁化方向。实际上，当输入的操作同时发生于列线和行线时，每个磁圈就充当了“与”门的作用。任一磁圈上的磁化强度发生变化，穿过所有磁圈的第三条导线就能检测出来，于是提供一个输出。这样，在任何一个由n个磁圈构成的矩阵内，仅仅有必要对每行和每列提供一条脉冲发生电路，电路总数为$\sqrt{n}$。鉴于每次所需信息是一个字，而不是1比特，对字中的每1比特可提供一个单独的矩阵（通称“平面”），然后每个平面上相应的行和列互连，这样更节省所需的电路数量。当然，平面间的输出线路必须保持独立。 1198

作为一种新型磁性材料，铁氧体能够很快和很容易地突然改变磁化方向。因此，正是由于铁氧体用于磁芯存储器，使这种形式的存储

器魅力大增。大约在19世纪末20世纪初，铁氧体已经为人所知。不过，铁氧体磁性的系统研究却是1933年以后的事情，荷兰艾恩德霍芬的菲利普斯实验室的斯诺克（J. L. Snoek）最先进行了系统研究[9]。麻省理工学院林肯实验室的研究成果也说明，镁铁氧体是磁芯存储器的理想材料。优点众多的新型存储器很快为计算机制造商们所采用，1956年首先应用在了雷明顿·兰德公司的UNIVAC 1103A型计算机中。在1970年大规模集成电路（LSI）动态半导体存储器出现以前，能提供1微秒以下存取时间的磁芯存储器就成了标准的计算机存储器。4年内，继这种存储器研制成功之后，基于热阴极电子管的逻辑元件便改为使用晶体管。

随着计算机应用数量的增加，在电子计算机的信息供给和结果输出方面，由穿孔卡片会计计算机和电报机行业继承来的设备的表现明显力不从心，甚至连ENIAC也面临着数据输入和输出的限制，输入单张穿孔卡片上的数据，要花费2000次到3000次加法所需的时间。在普林斯顿，冯·诺伊曼的高速并行机需要20分钟才能由纸带输进其1024字的存储器。因此，这对发展较快的输入和输出“外围”设备产生了强大的压力。UNIVAC用磁带取代了纸带，并采用了德国和日本发展起来的录音技术。20世纪50年代中期，英国剑桥大学的EDSAC小组采用孔的光电信号传感和一个夹紧纸带并立即使它停止的专用制动系统，研制出一台高速纸带阅读器。1954年，法国布尔机器公司研制出了“一次一行”打印的高速鼓式打印机，从而使鼓式打印机成为标准的输出装置。

1199

48.8 编程技术的发展

事实上，早期电子计算机的指令编制非常费力。洛夫莱斯伯爵夫人曾就梅纳布里的分析机描述[10]做译文注释，指出一个大型计算可能包含许多重复的相同指令序列，图灵（1937年）和冯·诺伊曼

(1946年)[8]都延续了这种思想。1951年，威尔克斯和剑桥大学数学研究室的EDSAC小组运用了这些原理，以《关于专门参照EDSAC的电子数字计算机的程序制备及子程序库的使用》[11]为标题，发表了他们早年的经验之作。子程序的概念使得编写的程序达到了通用的目的，例如平方根的计算，一个表中两个数值之间的内插，或者卡片阅读器或打印机之类的外围设备控制等，这些程序只需编制1次，并可编入需要它们的所有后续程序中。威尔克斯和其他小组成员设计了具有指令代码形式的EDSAC，以便易于由一批例行程序和库程序来汇编程序。EDSAC提供了一种被称为汇编程序或汇编语言的特殊程序，可将存储区分配给不同的程序段，并记录程序段之间的所有相互参照关系，最后填充已分配的一些地址。20世纪50年代，汇编程序的应用迅速扩展，尤其是提供了翻译助记符号。程序员发现，这比用来表示机器指令的、往往显得臃肿的数字序列更易记忆。所以，表示指令"乘"的比特图谱(bit pattern)就由汇编语言中的助记符MULT代替了，进而再通过汇编程序转换成机器语言形式。

曼彻斯特大学的研究小组针对MADM计算机试图研制的"自动编码"迥异于前人，具有更加意义深远的发展前景。自动编码的目的是以普通的数学符号描述要解答的问题，然后用一种程序把程序员对问题的描述转换成要计算机解决它的指令。美国取得了类似的进展，为美国海军部工作的霍珀编写出了第一种针对问题的计算机"语言"。两年后，与IBM计算机用户协会合作的IBM公司的巴克斯(J. Backus)，在霍珀之后定义了一种代数语言，并为IBM 704型机器编写了一个"编译程序"。根据编译程序，机器接受新语言描述的问题，然后转译成机器接着要处理的形式，这种新语言被称为公式翻译程序设计语言(即FORTRAN语言)，编译程序则是18个人用1年的时间编写出来的，后来，FORTRAN语言成了国际标准语言。接着，又有了其他语言，其中包括ALGOL(即算法语言)，这是国际和通用计算

1200

机语言的一个大胆尝试。1958年，在苏黎世召开的一次会议上，美国计算机协会和欧洲应用数学及力学协会的代表们就语言形式达成了一致，后由荷兰的迪日克斯特雷（E. W. Dijkstra）首先为这种语言形式写出了编译程序。ALGOL很快为若干计算机制造商所接纳，用在了他们的计算机中，但在欧洲比在美国应用得更广泛。第三种主要的计算机语言是COBOL语言，由美国的代表政府用户和计算机制造商的一个委员会研制出来。这个委员会在1959年成立，出版了COBOL语言的说明书。COBOL是针对用计算机解决商业类型问题的，而不是解决科学或数学应用型问题的。自此，原语言以各种方式予以改进和调整，包括面向特殊应用的许多新语言也得到了发展。

48.9 计算机工业的兴起

跟此前的霍尔瑞斯和鲍尔斯一样，埃克特和毛希利都认识到所研制的计算机在商业上是有所作为的。1948年，他们成立了埃克特-毛希利计算机公司，并成功地得到了两台计算机的订单。一台是BINAC，体积较小，具有汞延迟线存储器，所有的主要部件都有备件。每次计算都在机器的各一半中单独完成，结果加以对照以确保无误。另一台机器称为UNIVAC（图48.19），1951年初交付美国人口普查局（the U.S. Census Bureau）使用，这是商业制造的第一台存储程序计算机。UNIVAC是一台串行计算机，采用汞延迟线存储器和非通用的称为“余3”代码的二进制编码的十进制，这一代码在运算单元的设计方面有一定的优势。UNIVAC有着很多新特征。由于人口普查工作需要处理大量的数据，它使用磁带代替穿孔卡片或纸带，作为输入和输出手段。它还是第一台向操作员提供控制台的计算机，操作员可以随时中止程序的运行，或者随心所欲地用存放在存储器中某地址的字替换另一个字。特别值得一提的是，UNIVAC成功预测出1952年总统竞选的结果，激发了公众对计算机的兴趣，也引发了关于机

1201

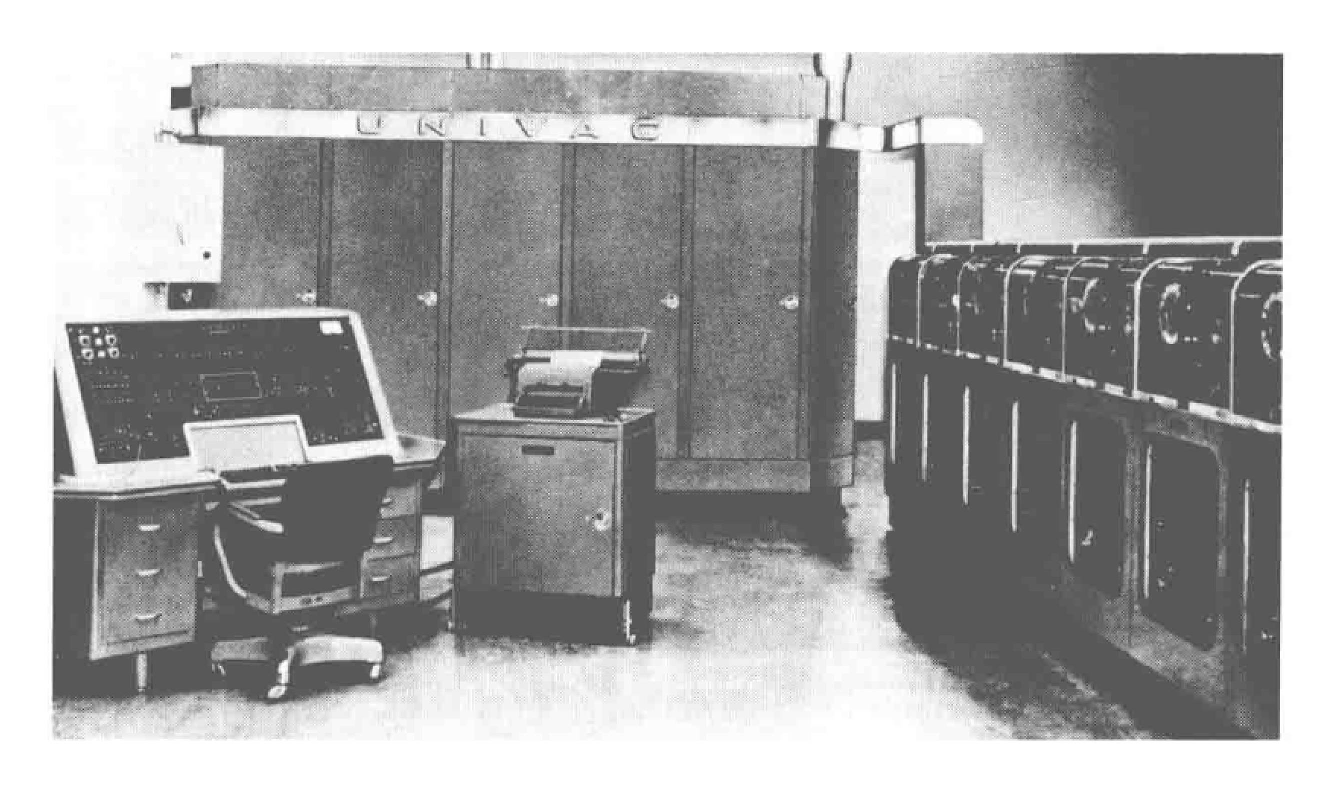


图 48.19　UNIVAC I 是第一台商用电子计算机。它于 1951 年安装在美国人口普查局里，并且成功地预测了艾森豪威尔将军在 1952 年总统竞选中的胜利。UNIVAC 由埃克特 - 毛希利计算机公司制造。它使用磁带输入和输出（图右），也是第一台具有以操作员为中心的控制台的计算机。

器能否思维的讨论。110 年前，洛夫莱斯夫人也曾讨论过这样的问题。她当时写道："分析机无论如何都谈不上能创造出什么东西，但它能做我们命令它去完成的任何工作。"[10] 遗憾的是，由于受到财务危机的困扰，埃克特 - 毛希利计算机公司存在的时间很短，1950 年被雷明顿 · 兰德公司吞并（当然，雷明顿 · 兰德以前还合并过鲍尔斯计算机公司）。

在此期间，曾经支持艾肯的 ASCC 的 IBM 目光有限，似乎只把计算机看作一种陈列品，并不重视计算机的商业价值，反应迟缓。1953 年制造的 701 型机器（图 48.20），才是 IBM 的第一台商用计算机。不过，这家公司从此呈现出迅猛发展态势。到 1956 年，IBM 的计算机销售大大超过了 UNIVAC。虽然 IBM 并不是创新的领先者，却在世界市场中成功地赢得了越来越多的份额。到 1960 年，IBM 的市场占有率已达 70%左右。

1202

在英国，曼彻斯特大学和剑桥大学以及国家物理研究所的研究小

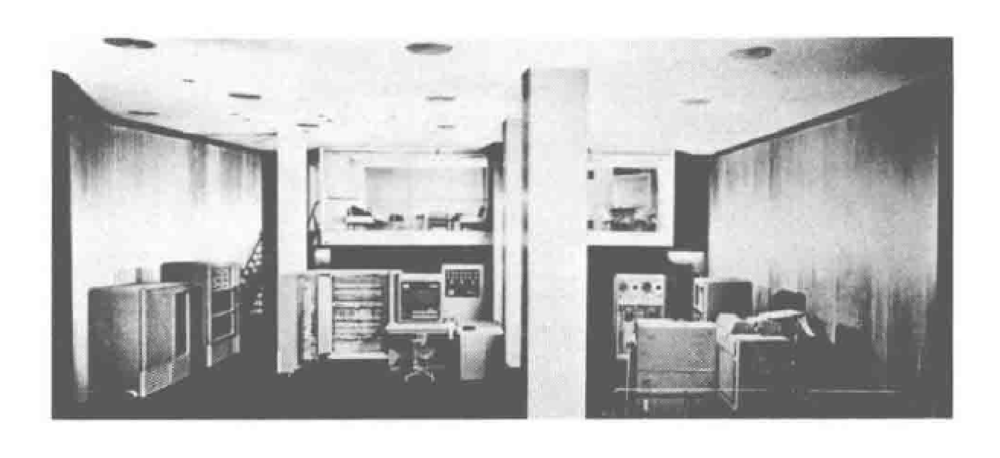


图 48.20 第一台 IBM 数据处理系统，1952 年。

组带动了计算机行业的发展。计算机设计方面的学术工作是在1946—1947年的冬季前后开始的。根据1951年曼彻斯特大学研究小组的设计，就在UNIVAC制成的几个月后，费朗迪有限公司（Ferranti Ltd.）制造出了一台计算机。通过国家科学研究开发公司（National Research Development Corporation），费朗迪有限公司接受了7台被称为Ferranti Mark I型计算机的订单。随后，在国家物理研究所的ACE（Pilot）设计的基础上，英国电力公司（English Electric）研制出一台被称为DEUCE的机器。莱昂斯（J. Lyons）与以面包房连锁店为基础的伦敦公司共建的工程师小组，与剑桥大学的研究小组合作，在1951年研制出一台类似EDSAC的计算机，称为LEO［Lyons Electronic Office（莱昂斯电子公司）的缩写］，这是完全用于商业数据处理的第一台计算机。后来，Leo计算机有限公司成立，专门从事计算机的设计和销售。1954年，在英国销售过早期霍尔瑞斯穿孔卡片计算机的英国制表机有限公司生产出了小型计算机HEC。这种机器以布思的伯克贝克学院的APE机器为基础，并使用了磁鼓存储器。

1203

此后几年里，美国和欧洲的其他许多公司决心制造计算机。但是，由于大多数风险是灾难性的，也由于计算机技术在设计上变化不大，从事计算机制造的公司明显减少了。

相关文献

[1] Walford, Cornelius. *Insurance Cyclopaedia.* London. 1871.(Article on Calculating machines).

[2] Turing, A. M. *Proceedings of the London Mathematical Society*, **42**, 230, 1936.

[3] Bush, V. *Journal of the Franklin Institute*, **212**, 447, 1931.

[4] *Electronic computers : gaps in technology.* O.E.C.D., Paris. 1969.

[5] Hollingdale, S. H. and Tootill, G. C. *Electronic computers*, p. 18. Penguin, Harmondsworth. 1965.

[6] Shannon, C. E. *Transactions of the American Institution of Electrical Engineers*, **57**, 713, 1938.

[7] Hartree, D. R. Foreword to *Calculating instruments and machines.* Cambridge University Press. 1950.

[8] Goldstine, H. H. and von Neumann, J. *Planning and coding of problems for an electronic computing instrumnet.* Institute of Advanced Study, Princetown. 1947.

[9] Snoek, J. L. *New developments in ferromagnetic materials.* Elsevier, New York. 1947.

[10] Menebrea, L. F. *Scientific Memoirs*, Vol. 3, p. 666. London. 1842.

[11] Wilkes, M. V., Wheeler, D. J., and Gill, S. *The prepatation of programs for an electronic digital computer.* Addison Wesley, Cambridge, Mass. 1951.

参考书目

Automatic digital computation. H.M.S.O., London. 1955.

Babbage, C. *Passages from the life of a philosopher.* Longmans, London. 1864.

Babbage, H. P. *Babbage's calculating engines.* Spon, London. 1889.

Booth, A. D. and Booth, K.H.V. *Automatic digital calculators.* Butterworth, London. 1953.

Bowden, B. V. *Faster than thought.* Pitman, London. 1955.

Couffignal, L. *Les machines à calculer.* Paris. 1933.

——. *Les machines à penser.* Paris. 1952.

Eckert. W. J. *Punched card methods in scientific computing.* Columbia University Press, New York. 1940.

Electronic computers : Gaps in technology. O.E.C.D., Paris. 1969.

Hartree, D. R. *Calculating instruments and machines.* Cambridge University Press. 1950.

Horsburgh, E. H. (ed.) *Modern instruments of calculation.* Bell, London. 1914.

Machines and appliances in government offices. H.M.S.O., London. 1947.

Montgomerie, G. A. *Digital calculating machines.* Blackie, London. 1956.

Morrison, E. and Morrison, P. (eds.) *Charles Babbage and his calculating engines.* Dover Reprints, New York. 1961. [Reprints Babbage' s papers and Menebrea with Lady Lovelace' s comments.]

Wilkes, M. V. (ed.) *Report of a Conference on high speed automatic calculating machines.* Cambridge University Press. 1950.

第49章　仪　器

弗兰克·格里纳韦（FRANK GREENAWAY）

1204

科学仪器的制造和使用及其在技术进步中的作用，在本书的前几卷反复强调过（第Ⅰ卷，第30章、31章；第Ⅱ卷，第21章；第Ⅲ卷，第23章；第Ⅳ卷，第13章；第Ⅴ卷，第19章）。包括20世纪上半叶的这几卷里，一些相关仪器的利用不言而喻地被认为是许多领域（确实是绝大多数领域）取得技术成就的先决条件。仪器种类繁多，用途各异，其中很多已经明确提及，并解释了对它们工作的一般原理，包括飞机的导航设备、医疗诊断的听诊器、探测海洋深度的回声探测仪等。新技术的发展不仅需要各种新型仪器，仪器数量也远远多于以前。例如，汽车需要对速度和距离、油压、电池充电电流、水箱的水温、燃料容量等进行测量的仪器。仪器制造成为一种重要的产业，尽管由于仪器品种多种多样，产业分工势必也越来越细。例如，照相机、显微镜和双筒望远镜等光学仪器的制造，就是从钟表或气体流量计的生产中独立出来的。本章将简要地介绍仪器工业如何与技术的总格局相适应的问题。仪器工业不仅可以满足技术发展的直接需要，更重要的是它还使技术进步成为可能。许多新仪器原是科学实验室作为基础研究的手段，这种工业潜力在很多情况下很快变成了现实。显然，仪器制造领域是反映科学和技术间界限逐步消失的最好例证。

以格里芬(J. Griffin，1914年)制造厂及其后继者格里芬和塔特洛克(Tatlock)公司分别在1914年和1962年发行的产品目录为例，可以说明仪器工业的变化。在1914年的产品目录扉页上，印的是“格里芬科学手工艺品”。相比之下，在1962年的产品目录扉页上，背景画面展现了工厂的宏伟景象和整齐排列的货栈库房。仅从实验室仪器的制造和供应来看，就可以发现规模扩大了，方式也有所进步。然而，比单纯发展更重要的是其他方面的变化。到20世纪50年代，仪器不再主要是实验室设备，在新兴的工业社会中随处可见，不仅用于工厂制造，而且也用于家庭生活。工业生产的各个过程开始越来越多地利用仪器进行控制，很难想象如今的任何大规模生产中，许多生产步骤会不用(即使不是全部不用)高精密的测试或测量装置。虽然装配线可能还要人工完成一些常规和重复的操作任务，但人的操作行为是在研制阶段通过仪器的实测调查确定的，人工操作装配产品的检测和最后出厂也都离不开测量仪器，有些测量仪器本身就可能是作为产品总工程的一部分而专门设计的。除了一般使用的仪器，我们不要忘记还有一些大型仪器，例如有着碗状可控方向天线的射电望远镜(边码990)，用于天文观测的巨型光学望远镜，以及测定亚原子粒子特性的大型加速器等。

1205

上述变化不是突然出现的。现代仪器工业由18世纪的仪器手工作坊衍生而来，当时许多专业的手工艺匠人并不从事研究，但他们所制作的仪器却用于科学和生活。例如，拉瓦锡(Lavoisier)购买过专用仪器在科研实验室中使用，道尔顿(Dalton)也购买过温度计和气压表，用于每日的气象观测。

19世纪初，人们逐渐认识到自然科学不仅是定性的，而且是定量的。这一认识影响到许多工业部门，化学工业所受的影响最明显，化学分析开始逐步发挥作用。化学知识和医学知识的增长，使得食品和药物中的杂质鉴定成为可能，并且为许多国家制定有关法规，提供

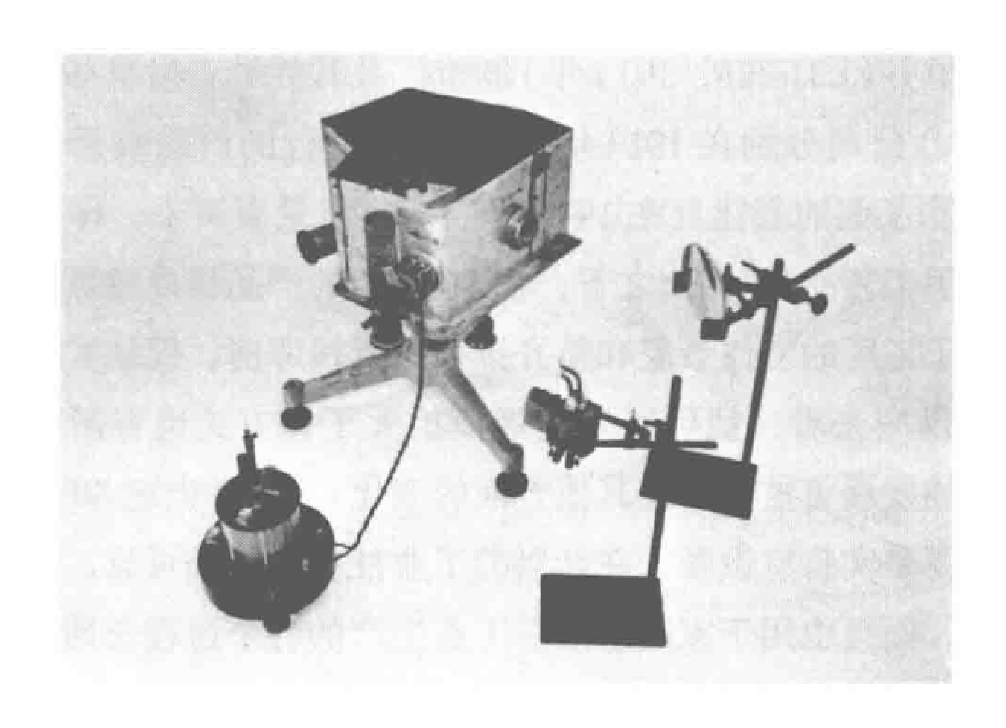


图 49.1（a） 在 1934 年希尔格（Hilger）光谱仪的基础上，汤普森（H. W. Thompson）于 1941 年制成的红外线分光光度计。这是一种典型的个人研究用的实验室单独装配的仪器。该仪器曾用于碳氢混合物的研究。

了充分条件（边码 1402），以便将上述物质置于以分析手段为基础的控制之下。科学、工业和社会福利相互作用的一个显著事例，便是 1863 年英国颁布的《碱法》（*Alkali Act*）。这一法令规定，重化工业必须用分析化学的方法控制排出物的成分，违者重罚。如果不能大量提供按标准制式生产的具有标准程序的分析仪器，这样的法令就无法生效。

1206

科学研究提出的新原理体现在一件又一件新的仪器中。这些仪器得到广泛使用，促进了相关技术服务或制造业的发展。对新仪器需求量的增加，又必然导致仪器制造发展为大规模的工业生产。仪器生产工业化的程度，则可以反映出工业整体的发展水平。从某种意义上说，仪器制造业成了工业化的一个标志，重要性可能不亚于机床工业。早先机床的生产只是需要大量的技工，但自从第一次成功实现机床的流水线生产［朴次茅斯的组合机床（第Ⅳ卷，边码 427）］开始，机械化工业的要求已变为必须设计制造机床，不能仅把机床当作人工技能或人力的扩展。这种观点同样适用于仪器制造，因为仪器越来越复杂，

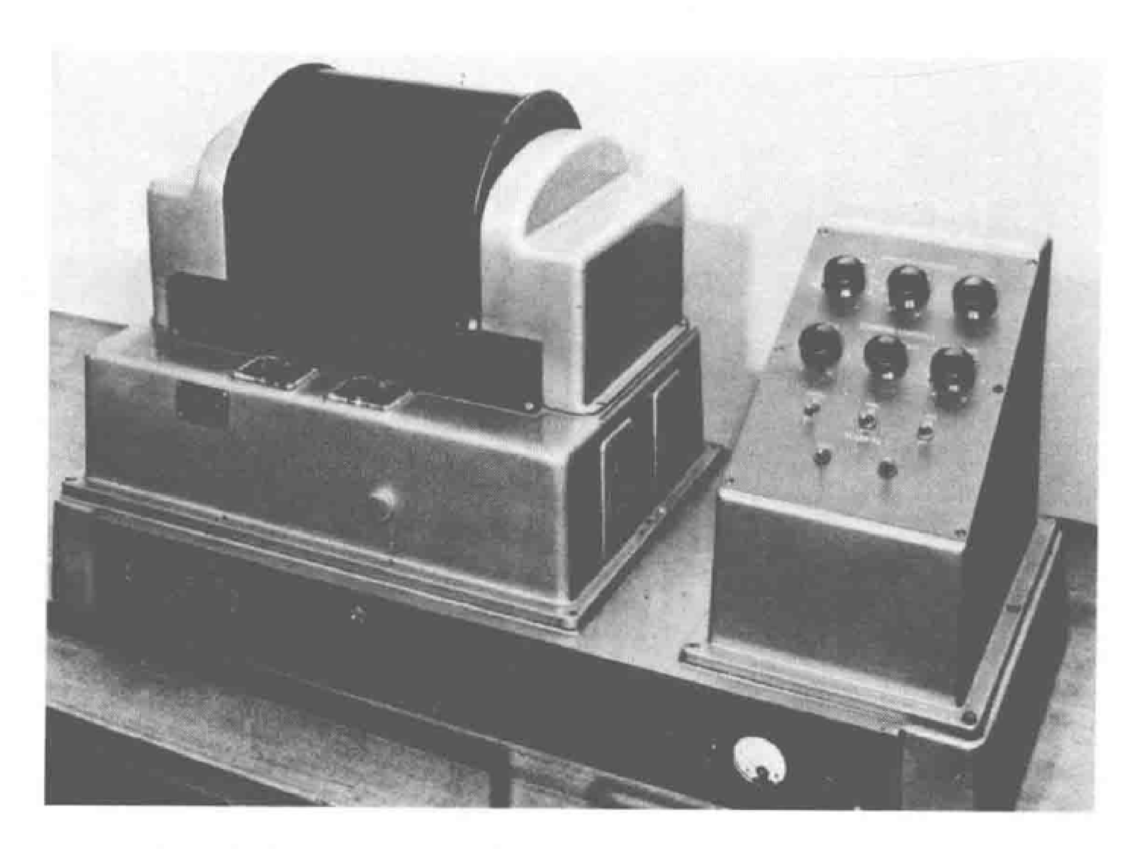


图 49.1（b） 珀金 - 埃尔默（Perkin-Elmer）的红外线分光光度计，1950 年。在制成图 49.1（a）所示仪器后的 10 年内，此类红外线分光光度计大量投入使用：供许多实验室用作常规的多重分析以及处理大量样品的研究项目。使用同样的仪器也有助于测试结果的比较。



图 49.2 食品商的磅秤，从 1950 年起流行的设计。主要部件是摆和与之相连的杠杆，由达·芬奇（Leonardo da Vinci）最先绘出设计图，而后制成并投入使用。



图 49.3 万用电表，1975 年。与早期的以检流计为基础的电表不同，这种万用电表没有运动部件。它采用电子响应，并通过发光二极管显示。

到了20世纪的社会需求量很大，单靠手工制作的方法再也无法满足。

对仪器需求量的增加还表现在另一个方面，那就是服务行业已经采用仪器进行控制和成本核算。举个很普通的例子，食品店老板在将一磅奶油交给顾客之前，总是先用科学的仪器称称分量，让顾客获得足量的所需商品。服务行业是建立在技术创新成果基础之上的，在19世纪就已经开始发展，到了20世纪初，所有工业化国家的城区生活主要依靠服务行业，尤其是电和煤气的供应。供应给车主的必须是计量过的汽油量，供电完全依靠电表计量，至少大约在电磁感应现象发现的头几年里，大多数电表就已问世。

1208

依据19世纪确立并在20世纪广泛应用的一些原则，电力供应产业的设备制造获得了最大程度的发展。当供电范围从单个工厂及其附近地区扩展到整个城市的时候，人们已经清楚地了解测量电压、电流和电力消耗的方法。要是没有小型电动机的使用，第一次世界大战期间的重复性劳动状况就不可能得到改变。随后，电器设备的管理日益成为许多工厂（如果不是全部的话）的一项重要职责。随着计量仪器需求量的大幅增加，许多以生产测量仪器为主的公司应运而生，迅速发展壮大。

到20世纪20年代中期，世界上许多地区的供电系统（第12章）已经实现了远距离输电，电力生产和消费的规模远远超出了一个城市的狭小范围。为了保证负载的平衡和应有的经济效益，供电系统开始联网。与此同时，仪器设计师被要求设计出能实现集中控制和记录的仪器。虽然这种集中控制系统的各个组成部分可能仍然保持原状，但在设计时遇到了新问题，系统管理要靠整个中心控制系统的全体作业人员。在本书的有关部分，可以找到许多这种中心控制系统的例子，但在这里只能提及火车自动控制装置的发展情况（边码783），这与大型实验室里多人分管的仪器设备相似。最新发展起来的电子通信系统和计算机控制系统，基本上取代了旧时意义



图 49.4 肯特郡英 - 伊（朗）石油公司炼油厂的控制台。使用这种复杂的仪器，可以立即显示炼油厂蒸汽和动力产生与利用的全过程。该控制台是 1950 年以后出现的一种典型的控制方式，通过生产过程的远距离观察与计量实现对高度自动化装置的控制。

上的单一观测的仪表仪器。 1209

跟供电业一样，煤气工业供应的是原料商品，实际上是输送能量。测量煤气流量看上去挺简单，其实需要相当精巧的装置，既有用于工业装置（包括煤气厂本身）的大型计量表，也有供家庭装置的小型计量表。在评价技术进步时，这些小型装置不可忽视，它们往往体现了发明者对仪器设计基本原理的把握。近来，人们习惯于将仪器设计的几个因素加以划分，例如信号的检测，将信号转换成可传输信息，信息的转换显示在记录上，以及每个阶段都使用的电气或电子方法，结果往往忽略了以往用手工进行同样操作时的精致性。此外，气体流量计是根据压力差异引起叶轮旋转的原理进行测量的。

只在煤气供应系统的用户端或低压端以手工方法为主测量煤气量，一直沿袭到天然气供应时期（在欧洲主要是在战后，在北美则要早得多）。20 世纪 30 年代的人们已经明白，煤气供应不能依靠煤蒸馏的方式，开始研究将石油等其他物质转化成气体送入煤气供应系统的方 1210

法。这样，早就提供重要原料的煤气业不仅与化学工业的联系更加密切，并且也开始改用精密的控制方法。

哈伯（Fritz Haber）和博施（Carl Bosch）在热力学和工程学中所取得的成就，标志着工业化学方法的革命性变化（边码523）。他们所采用的温度和压力变化范围、处理数量的增加以及越来越连续的流程的发展等，使得制造系统中个人判断的作用实际上完全消失了，炼油厂是新型工厂开始出现的最明显的例子。在大量无机化学制品的生产中，连续的工艺流程同样只能靠仪器控制来保证。

电化学领域很好地体现了科学和工业之间的相互影响。电化学中的氢离子浓度指数（pH）是测定溶液酸度的标准，这一概念由研究酶的生化学家首先提出。酿酒商对此很感兴趣，因为提高酒类产品的质量需要有关酶作用条件的知识。人们发现，氢离子浓度至关重要。研发的新理论很快便影响到分析化学，并在生物化学和生理学的大部分领域变得非常重要。测定 pH 最初采用经典的电学方法（利用简单的电势差计和电桥），大约自 1935 年起改用真空管的方法来提高灵敏度。这样的做法一举多得，不仅通过对极小信号的放大使灵敏度变得更高，操作过程也加快了，自动化程度变得更高。氢离子浓度对于化学反应过程影响重大，因而在所有与水溶液制造业相关的分析工作中，包括从酿酒到炸药制造等领域，测定氢离子浓度成为一项必需的重要技术。

从 20 世纪初以来，测定氢离子浓度的技术一直得到稳定的开发和利用。不过，当时的另一些发现的实用性就不够立竿见影，色层分离技术就是其中很突出的例子。早在 1903 年，茨韦特（M. S. Tswett）就观察到，采用溶剂提取法让某种溶液通过某种粉剂，可以分离出植物的色素。但是，这一发现一直未受重视，直到 1914 年才由马丁（A. J. P. Martin）和辛格（R. L. M. Synge）用另一种方法（即分配色层法）得到这一结果，用于分离工作的仪器其实只是以硅胶作为主

要吸附剂的简单器械。事实上，1944 年的纸上色层分离法的器械甚至更简单。同样是在这一年，更精致的用于气相色谱法的装置研制成功，可以分离出混合蒸气系统中的各种成分。

1211

色层分离法所能分离出来的化合物种类之多，是传统分离法所无法比拟的，因此在实验室中的应用越来越广泛。这种方法也很适用于分离青霉素之类的十分敏感的物质，这些物质在传统的分离方法下可能会遭破坏。后来，经过多方改进的色层分离法使用标准化的制剂和仪器，保证和方便了生产，满足了世界范围的大量需求。气相色谱法需要使用复杂一些的仪器，但它可以用于香料或石油蒸馏产品等难以分离的混合物的分析，尤其是可以用于化学制造过程的在线控制，所以这些仪器的市场还是相当大的。这说明某个仪器行业的发展，并不仅仅是传统仪器产量的增加。

1213

在 19 世纪的最后几年里，科学仪器的制造由精致的手工操作来完成。尽管当时对显微镜、电表和计量器等仪器的需求量很大，但制作和装配它们的全部工作或大部分工作，都是靠娴熟的工匠独立完成。到 20 世纪 50 年代，发达国家对仪表和记录装置的日常使用既广泛又频繁，普通市民可能根本不认为自己正在使用科学仪器。毫无疑问，这些装置全是 19 世纪末 20 世纪初刚从实验室问世的仪器的发展结果。不过，一般消费者使用的仪器和科技人员使用的专业仪器存在区别，这是我们需要认识清楚的。

在科学领域和社会生活中，对时间的测量具有重要意义。机械钟的设计是一项伟大的发明，高度的准确性通常靠钟摆的特性来实现。然而，要进一步提高钟的准确性，则有必要采用电动手段。早在 1814 年，就有人将间歇发生作用的静电引力试用到时钟上，以便控制钟摆的持续摆动。稍后，电磁引力被用于调整钟摆的摆动，英国的贝恩（Alexander Bain）和德国的希普（Mattheus Hipp）做了很多工作。最后，肖特（Shortt）在 1921 年研制成无摆的电钟，精确度超过了当

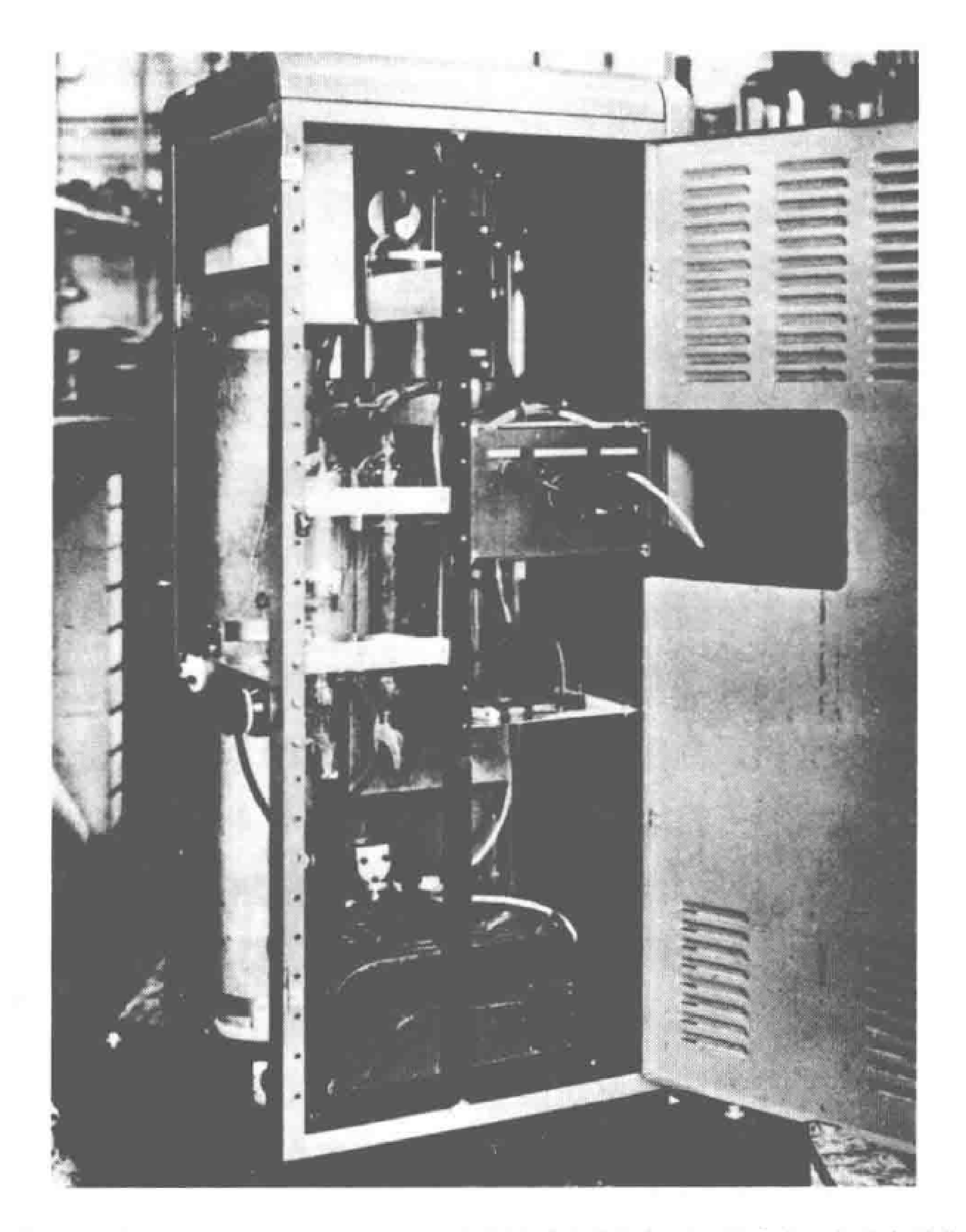


图 49.5　气态 - 液态色层谱仪，约 1950 年。用于分离性质十分相似而又混合在一起的各种化合物，从而可对它们分别进行分析。这种分离法，依靠混合物各组成部分的吸收程度细小差异的放大作用，使流动着的载体（例如惰性气体）携带混合物通过固定的吸收剂（这样，液体就被吸附在固体上）。在利用物理性质差异的许多仪器中，这是唯一使应用陈旧分析方法的人感到困惑的一种仪器。

时最好的机械钟，因而被世界各地的天文台采用，直到被石英钟取代。

电驱动时钟还使得时钟系统能在某一范围内，例如在办公室集中的大型街区或一艘大船内，实现统一的计时。一个国家的电网频率标准化，让同步电动机驱动时钟成为可能。这种电驱动时钟有着较高的精确度，但容易受电网故障的影响。

人们利用石英晶体的振荡频率限定，驱动时钟放大器的电流频率，

从而将时钟引入新的持续发展时期。美国的莫里森（Morrison）、英国的戴伊（W. D. Dye）和埃森（L. Essen）等研制的这一类时钟，曾在20世纪30年代初风行一时。后来，这些石英钟又被以铯原子振动为标准的铯原子钟所取代（埃森，1957年）。至于家庭和个人的计时，则得益于晶体管（1956年）。1972年，利用发光二极管进行数字显示，一种没有运动部件的时钟被制造出来。

1214

20世纪的仪器使用中，许多其他引人瞩目的发展源于19世纪中叶还完全陌生的一个科学领域。当时，人们对电学的研究首先在固体中进行，然后在液体（溶液）中进行，最后又在气体中进行。研究电流在气体中流动的特点，使人们获得了许多新知识，导致了现代原子结构理论的产生。许多对20世纪技术发展具有重大意义的技术手

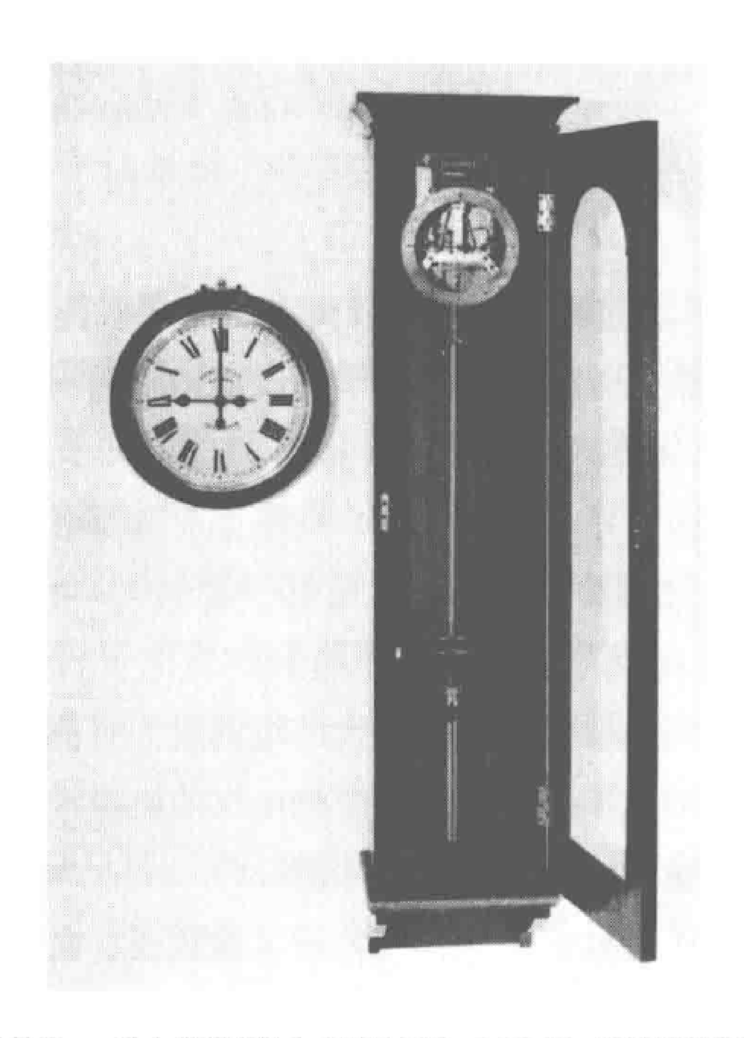
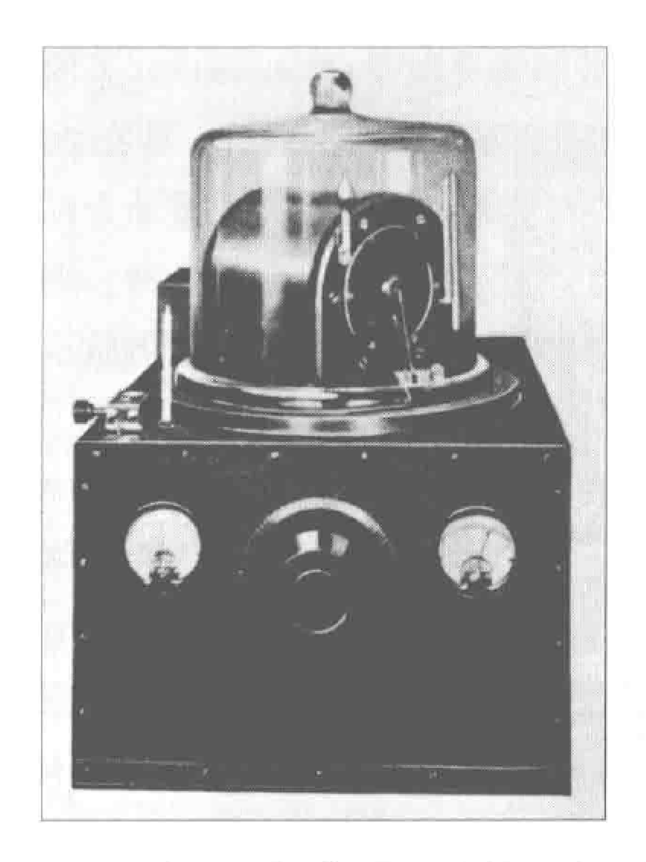


图49.6　桑布里奇发射机，一种由摆控制的电动时钟系统，1909年。通过间隔发射的（在此是每半分钟）脉冲，主时钟驱动若干个“子”时钟运转。



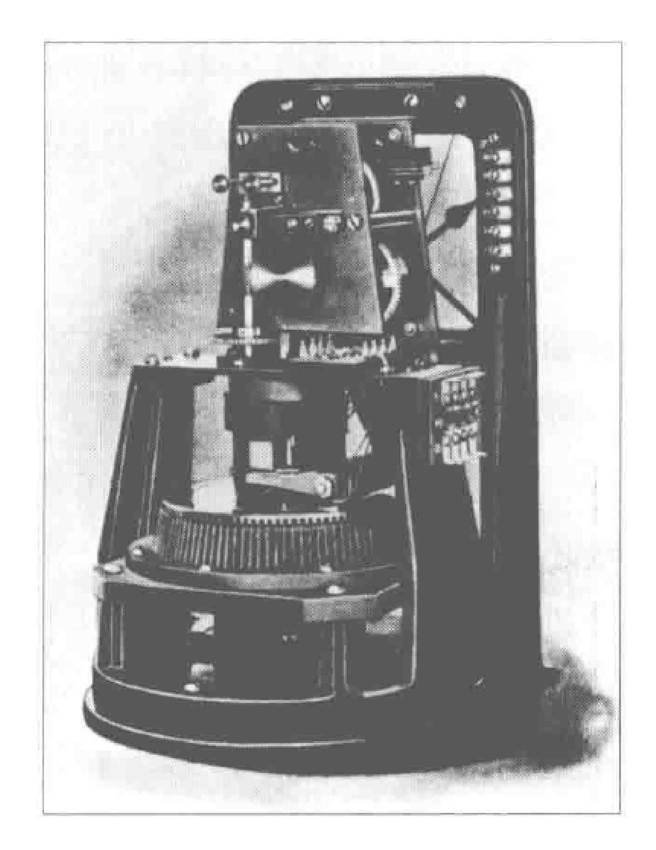


图 49.7　第一个石英晶体钟装置的部件，贝尔电话实验室。1927 年。石英晶体的振荡频率被用来驱动常规同步电动机的装置。左图是装有石英晶体的整个晶体振荡器。右图则是以齿轮与时钟相连接的同步电动机，转速为 1000 转 / 分。

段，隐含在 19 世纪的发明中，比较突出的有在气体中电流的单向流动，在真空里自由电子所带电流的单向流动，用磁场或静电场对电子流路径方向的控制等。电磁波的传播方式也得到了实验的证实。这一切都在无线电技术中得到了应用，在本书有关部分（第 50 章）可以见到详细描述。这里要特别列举二极电子管（1904 年）和三极电子管（1907—1911 年）的例子。二极电子管和三极电子管的发明，分别使交流电的整流和用微弱信号控制强大的电流成为可能。这两方面的问题都是电气设备的基本问题，以传统的电气或机械设备来解决这些问题的种种尝试，激发出了许多创造才能。

真空管或电子管从出现到作为物理实验装置，经历了很长一段时间。1922 年，格莱兹布鲁克（R. T. Glazebrook）编纂的《应用物理学词典》（*Dictionary of applied physics*）还没有收入“电子管”这一词条。

但是，随着电子管电压表的发明（1935年），电子管的应用领域日益扩大，例如可以把三极电子管用作基本的信号控制或放大设备。为无线电行业生产的电子管能够满足仪表行业的任何需要，只是市场销量还不大。第二次世界大战刺激了电子管市场需求的增长，在通信领域的应用显著增加，电子管仪器的新用途不计其数。计算机的发展（第48章）不在本章的讨论范围之内，但值得一提的是，由于产品的应用在公众生活的某些方面占实际主导地位，计算机工业的发展完全可以与汽车工业的发展相媲美。晶体管的出现是电子器件制造的一次革命，它使电子计算机得到重大发展，使基本工作元件的尺寸缩小（很多数量级）。原先使用电子管要占很大的空间，现在则仅占用1立方毫米或更小的空间。研制出的各种用磁性或电子存储信息的装置，在缩小 1215 体积方面更为有效。另外，随着固体电子学的发展，各种需要信号传输和计算的操作设备的灵活性都得以提高，从而使仪器的诸多功能发生了变化。不过，这是技术和工业发展到最近时期（迟于20世纪中叶）才出现的。

在电子管技术领域，还发生了另一个历史性的变革。把电子管应用于电信号控制的早期研究，很大程度上是理论探索性的。到20世纪中叶，主要从事这一领域探索的是大公司的研究实验室，它们借助新发现的开发利用而壮大。许多与电子管技术有关的新仪器不断研制出来，它们的发展在某种程度上依靠非科学应用设备产品市场的存在和扩大。20世纪下半叶的前半期，这些研究实验室又在电子学研究方面花了很大的力气，生产出了前面提到过的固态电子器件。仪器工业对整个工业发展的依赖性，通常还可以以显微术作为例证。继厄恩斯特·阿贝（Ernst Abbe）的研制工作之后，相当多的专门从事高精密 1216 仪器批量生产的工业机构建立起来了。显微镜设计发展到光学上允许的精巧程度，例如利用紫外线或借助相位对比等手段，分辨力可以大大提高。但人们也认识到，显微术的某些新原理还需进一步探索。

引起显微术基本方法根本变化的新原理，源于原先毫不相干的电子射线衍射领域。早在19世纪，人们就对有关显微镜的理论进行过许多阐述，也早就知道利用比可见光谱更高频（或波长更短）的辐射，在理论上可以获得更高的分辨率。利用紫外线辐射提高显微镜的分辨力取得了一些成功，但逻辑推理至X射线则是不现实的，因为当时还不知道用什么方法使它们折射。然而，德布罗意（L. de Broglie）提出的物质波理论却表明，如果电子束是一种类似X射线的波系，它可以通过晶体的原子点阵发生衍射。后来，汤姆孙（G. P. Thomson）做实验证实了电子束衍射现象的真实性。与透镜系相似的电场或磁场可

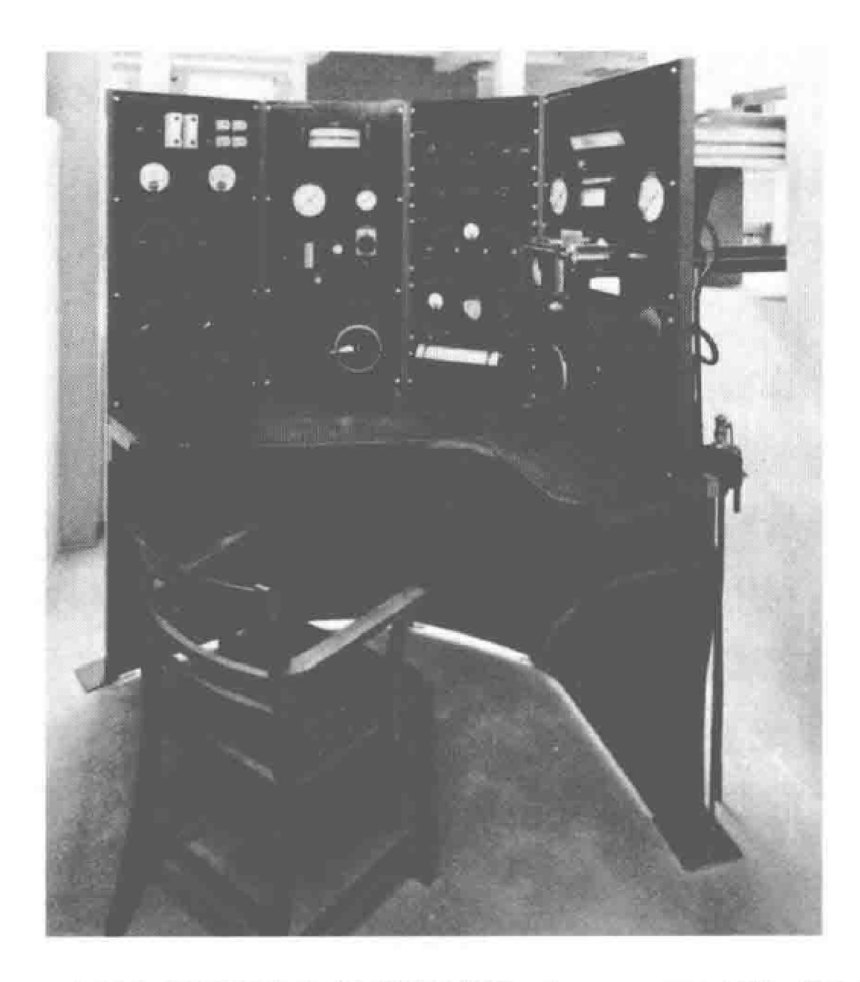


图49.8　1936—1939年斯韦德贝里超高速离心器的控制板。在1924—1933年间，斯韦德贝里发明了一种高速运转的超高速离心器，通过强离心力作用下的沉淀来测定高分子的重量。1936—1937年，这种超高速离心器的控制板被安装在伦敦的李斯特研究所，它是控制超大型仪器（这在物理和化学实验室会越来越普遍）必要手段的一个早期样板。注意示波器（1939年增加的），它是该仪器早期应用的显示设备。

以使带电的电子束发生衍射，这意味着有可能用显微镜观察到比可见光频率高许多数量级频率的辐射。依据这一发现来制作显微镜，是传统的手工艺匠人无能为力的。从技术史的观点来看，它的意义不仅在于显微镜的工业用途，而且还在于这样一个事实——显微镜不是由单个或一组手工艺匠人制造出来的产品，而是在科学家和工程技术人员共同协作下制成的观测装置。此外，跟本章提到的其他仪器一样，显微镜通常是作为共用设备安装在实验室，而不是某一研究人员的个人工具。生产电子显微镜的厂家，不是像过去生产光学显微镜那样的小型专业制造厂，而是庞大的工业机构所属的分厂。这些大型工业机构面向广大消费者或工业市场，生产诸如无线电和电视等各种电气和电子设备。

由于科学研究工作深入到了物质的基本结构，仪器的研制范围也随之变得更广泛，这在核磁共振（NMR）领域表现得十分明显。自20世纪初现代原子理论诞生以来，人们已经对原子和原子核的磁性进行了研究。到20世纪40年代末，人们研究物质吸收电磁辐射的问题后发现，原子核所特有的吸收频率是由它所在的分子环境（很小但可测）决定的，如果测得了核磁共振的特定频率，也就提供了分子结构的信息。这种方法快速有效，但需要体积庞大、结构复杂的仪器设备。尽管如此，在大型石化公司提出的快速有机分析设备这一潜在市场的吸引下，有几家电子公司坚持开发研制，到20世纪60年代成功地实现了商品化生产。据瓦里安（Varian）公司记载，1960—1970年的11年间，出售仪器数千件，价格最高达25万美元。显然，如果不是按工业规模去制造和研发，这种设计精良、价格昂贵的仪器不可能得到发展。同时，它也可为主要关注基础知识进展的理论研究工作者所用，后者反过来又有助于促进技术进步。

1217

1219

上述分析同样适用于其他仪器的发展。例如，质谱仪最初只是在实验室车间制作，作为一次性设备供个人研究使用，后来则作为服务

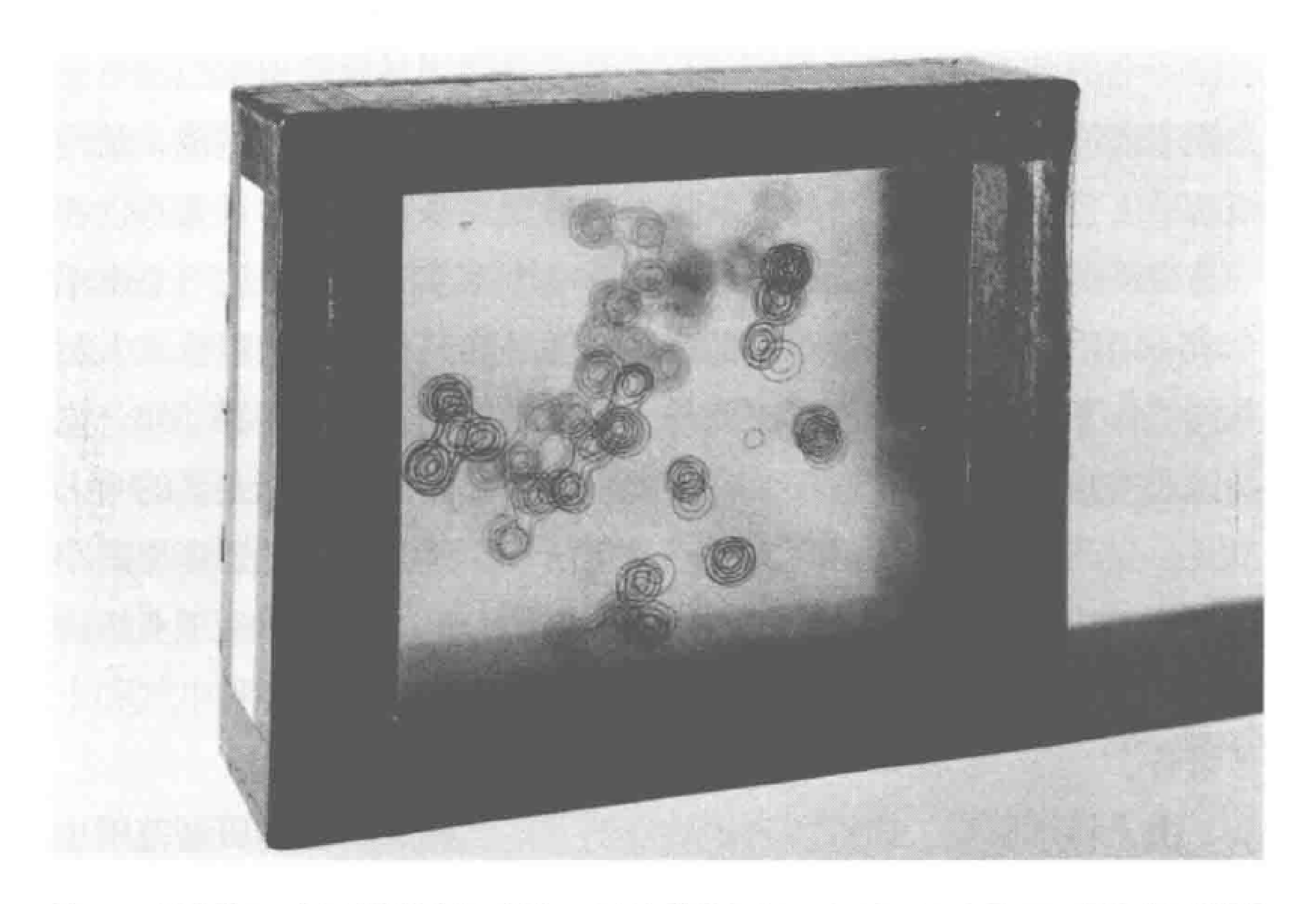


图 49.9　维生素 B_{12} 的电子密度图的一部分。这是由霍奇金（Dorothy Hodgkin）于 1958 年按照电子等密度线的次序一个接一个排列而成的犹如多层玻璃夹板的结构。X 射线照片上结晶数据的解释需要多种多样的分子模型结构图。而这些结构图则可视作仪器制作工艺必备的附件。

性仪器大批量生产。医疗技术的发展在别处作过阐述（第 54 章），但这里必须指出，到 20 世纪中叶，无论是外科医生还是内科医生，所需的大型机械设备和仪器装置的复杂程度完全与科学界和工程界人士所需的相类似。例如，心脏外科手术所需的设备，或者用作功能失常的肾脏代替物的透析设备，开始比得上物理化学实验室里的质谱计和极谱记录器等仪器设备，同时也像它们一样，要依靠在工业化机构中的设计和生产。

研究科学仪器的历史，不考虑经济方面的因素是不全面的。在 20 世纪初，除了进行天文观测和专门的科学考察活动（例如日食观测或凌日观测）不得不需要专门和全面的仪器装备以外，其他科研活动所需的仪器费用在经费总预算中所占比重不大。随着仪器逐步向复杂性和专门化方向发展，人们对仪器的依赖性也越来越大，科研经费总

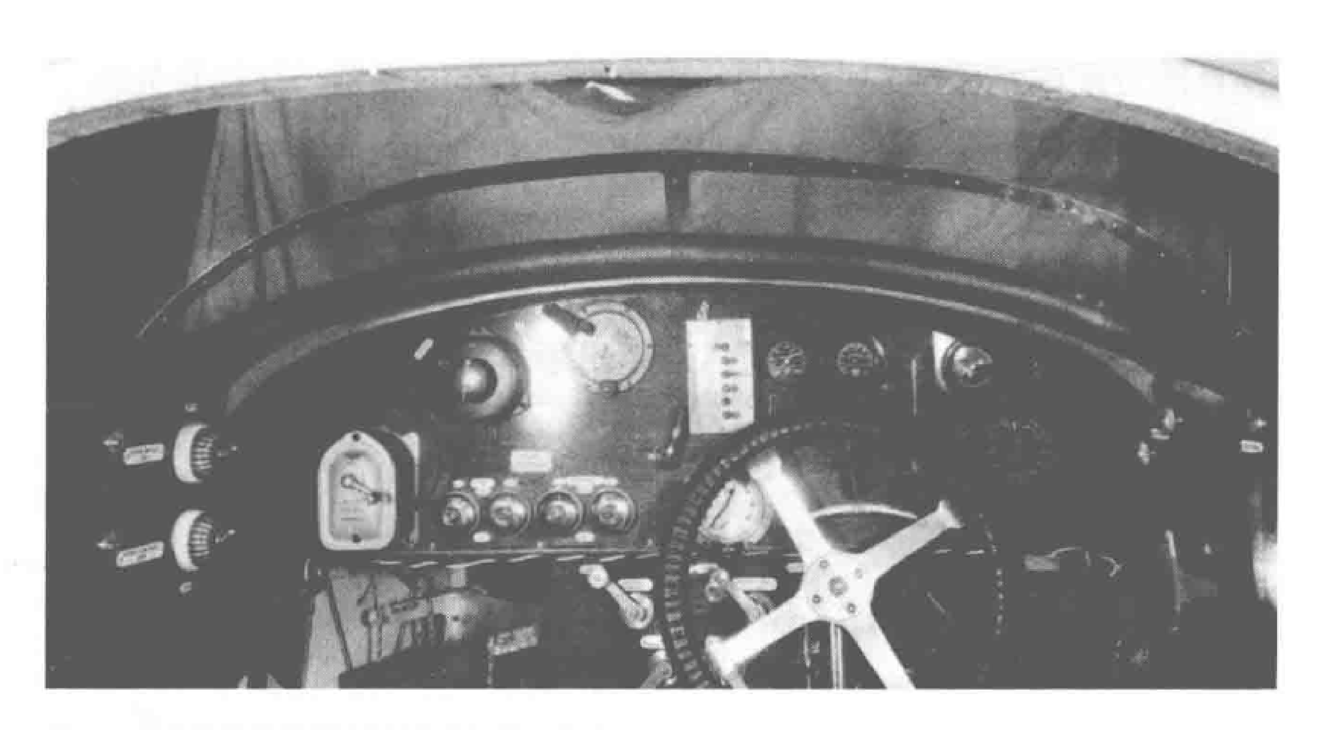


图 49.10　远程飞机驾驶员座舱中的仪器 50 年来的发展。

（a）1919 年，阿尔科克（Alcock）和布朗（Brown）驾驶维克尔斯维迈飞机横渡大西洋。该飞机驾驶室中的仪器显示了飞机的飞行速度、高度、水平状态和发动机的工作状态。

（b）图为大约 1971 年，波音 747 大型喷气式客机训练模拟器的驾驶员座舱。座舱仪器显示了飞机的飞行速度、马赫数、飞行高度、水平状态以及所有的控制和运转状态、发动机的工作状态，还配有主要用于导航的全套复杂的无线电设备。

预算的分配模式已经发生变化。许多研究工作的规划，往往首先得考虑购置仪器的资金问题，人员的费用问题则遗留下来作为单独的一个议题争论不已，似乎人是应该为机器服务的。确实出现过资金充裕但仪器拖延购买的情况，因为还没有规定要给使用和维护仪器的专业人员支付报酬。不过，这一问题已经超出了本章所讨论的范围。

参考书目

Glazebrook, R. *Dictionary of applied physics.* 5 vols. London. 1922–1923.
Instrument manual. United Trade Press, London. 1949, 1953, 1960.
Cooper, H. J. (ed.) *Scientific instruments.* 2 vols. London. 1946, 1948. .
Cochrane, R. C. *Measures for progress* : *History of the National Bureau of Standards.* Washington. 1966.
Bradbury, S. *Evolution of the microscope.* Oxford. 1967.
Szabadvary, F. *History of analytical chemistry.* Oxford. 1966.
Jackman, L. M. *Applications of nuclear magnetic resonance.* London. 1959.
Hope-Jones, F. *Electrical time-keeping.* London. 1949 ; reprinted 1976.

第50章 电 信

D. G. 塔克（D. G. TUCKER）

1220

50.1 电报

19世纪电报的发展已在本书的前几卷（第Ⅳ卷，第22章；第Ⅴ卷，第10章）叙述过，现在要补充的内容并不多。到19世纪末期，所有的发达国家都有了效率很高的国内电报系统，并通过海底电缆和其他国际线路同世界各地的电报系统联系在一起，形成国际性的电报通信网络。除了将在后面单独叙述的无线电技术发展方面之外，本章只论述已经取代别的电报装置而被普遍采用的电传打字电报机（拍电报用的打字机）。在1950年之前的20年间，甚至在以后的更长时间内，电传打字电报机普遍用于本地的普通电话线路和各电话交换中心的国际线路上，进行用户直通电报服务。同时，还普遍采用载波传输，把电报信号调制成载波音频信号后，再通过电话线路进行传输。

在叙述电信发展的历史时，必然要提到一些基本的元器件，例如电子管、电容器、电阻器和电感器等。这些元器件都是所涉及的电路不可缺少的组成部分，它们的发展史已经进行过详尽的阐述（第46章）。

50.2 电话发展的早期阶段（1876—约1915）

电话的起源 电话的发明通常归功于苏格兰出生的发明家贝尔（Alexander Graham Bell），他在1871年移居美国。1876年3月10日，他第一次听到了从自己的实验装置中传出的极为清晰的声音。在此以前，早就有人进行过用电通话的种种试验，但结果都不十分理想。更重要的是，格雷（Elisha Gray，美国人[1]）几乎与贝尔同时发明了电话。在贝尔申请电话发明专利的同一天（在当天晚些时候），格雷也将自己设计的电话装置的专利申请书送到了美国专利局。贝尔和格雷都研究过谐波电报机，它能传输和响应若干同时发生的声音。他们后来按照这一想法，进一步研究人与人之间的直接通话问题，这是顺理成章之事。格雷当时还未意识到电话的重要性，并未进行更深入的研究。贝尔的研究则继续进行了一段时间，他的资助者们取得了商业上的成功。贝尔虽然比格雷先发明电话，但他所使用的电磁式话筒初看起来与格雷所发明的听筒很相似。这种电磁式听筒的制作原理仍然是制作现代电话听筒的依据，一块绕着线圈的磁铁形成磁场。通话时，话筒使薄铁片在声波影响下在磁场中不断振动，从而在线圈中产生电压，并产生从线圈到听筒整个线路里的相应电流。然而，格雷发明的则是变阻话筒，里面有一根与振动膜片相连并浸入传导液中的金属线。当声音进入话筒后，声波以金属线为媒介，引起电阻的变化，进而使线路中和听筒内的电流（由电池产生的电流）发生相应变化。这种方法极其有效，而且由于采取了让振动膜片产生的压力通过碳粒元件来改变电阻的方式，从而为现代电话话筒的设计奠定了基础。使用这种话筒所需的能量要靠电池产生的电流提供，而不是靠声音提供，声音在这里仅仅起到调节电流的作用。

1221

在贝尔研制的装置中，有一个相当强的单向磁场（这磁场或用电池供给线圈稳定电流的方式产生，或使用永久磁铁作为铁芯的方式产生）。贝尔显然了解这种装置的重要性，但它的基本性质似乎最

早在1887年2月才由亥维赛(Oliver Heaviside，英国人)首次揭示出来[2]。他指出，假定电话听筒中永久磁场的强度为H，在话音电流的影响下，磁场强度的变化是从$H+h$到$H-h$。振动膜片上所受的力与磁场强度的平方成正比，如果将比例常数忽略不计，变化则为从$(H+h)^2$到$(H-h)^2$，即为$4Hh$的变化量。这就是说，只有在H大于h的情况下，膜片所受力的这一变化量才与永久磁场强度H成正比。如果没有永久磁场，H就会等于0，振动膜片上所受的力也就不可能准确地再现话音电流的波形。

1876年末，贝尔提出将他的电话发明专利以10万美元转让给西部联合电报公司，结果对方当时目光短浅，看不到电话发展的前景，拒绝了这一提议。在自己原先创办的电话公司的支持下，贝尔继续进行电话的研究和改进工作，并在一年后取得了显著成绩。西部联合电报公司对电话发展前景的判断，被证明是巨大的失误。这家公司后来也打入了电话领域，根据格雷的专利生产电话装置(格雷同西部联合电报公司发生关系是通过其子公司——西部电气制造公司，格雷是这家子公司的实际创办人)，同时还委托爱迪生(Thomas A. Edison，美国人)改进这种电话装置。爱迪生重新设计了一种变阻话筒，在性能上比原来的变阻话筒有所提高，表现在碳粒之间的接触在声波的影响下可以自由松动。他还研制过一种电话听筒，只是使用效果并不十分令人满意，主要缺点是当话音电流通过触针进入一个旋转的白垩圆筒中时，圆筒因为碘化钾沾湿受潮，触针便会碰到某种变化不定的阻力作用。同时，这种变化不定的阻力作用，又可能引起与触针相连的膜片产生振动。由于在电话的生产经营上处于领先地位，西部联合电报公司的专利收益超过了贝尔电话公司。但是，它后来把电话专利转卖给了贝尔公司，条件是在整个专利有效期期间享有20%的专利使用费。

电话业务的开端[3] 在1876年贝尔和格雷发明电话之后，电话

业开始迅速发展起来。1877 年，贝尔电话公司创办，很快便进行了改组和扩建，在美国牢牢地扎下根来，到 1879 年时又在英国和别的地方设立了分公司。此前，爱迪生也在伦敦和别的地方创办了好几家各自独立的电话公司。在 1879 年以后的一两年内，爱迪生的这些电话公司分别与它们所在地区的贝尔分公司或其他合适的公司实行了合并。由于新型或改进型电话话筒和听筒的不断发明，许多新的电话公司相继成立，许多新产品都得到了开发和利用(图 50.1)。

电话为公众服务的问题很快就提了出来，只是它的基础和条件与电报略有不同，租用电话的人或“用户”往往拿起电话就期望立即接通。为了满足这种要求，贝尔电话公司和爱迪生电话公司分别从 1878 年和 1879 年起设立了“电话交换台”，提供接转电话服务。当然，电话交换台开始时的服务范围只是局部性的。不过，随着电话交换台的不断增多，显然需要把各个电话交换台相互连接起来，这样就开始发展市内电话网。然而，这种市内电话网的发展及其作用的发挥，受到了实际情况的限制。在许多地区，各个电话交换台或由若干电话交换台组成的小联合体分别属于不同的电话公司，使用的技术手段和经营方法各不相同。同时，许多国家政府部门害怕电话业与国有电报业竞争，极不主张发展市内电话通信网。所以，直到 1884 年，只有美国建立起一个实用的市内电话通信网，这个结果丝毫不令人感到意外。1885 年公布的统计数字表明，美国当时有 14 万家电话用户，有 800 个电话交换台。英国在世界其他地方位居榜首，但也只有 1 万台电话机。美国有 800 条以上的市内电话线路，英国则仅有 80 条左右。当时，美国拥有的电话机和市内电话线路的数量，可能比世界其他地方的数量总和还多一倍以上。尽管各个国家电话分布的密度各不相同，增长率却几乎都一样。就电话的数量和电话线路的里程而言，差不多各个地方都是每隔二三年就增长一倍。

电话交换机　应不同线路电话用户的要求，借助某种可变的电话

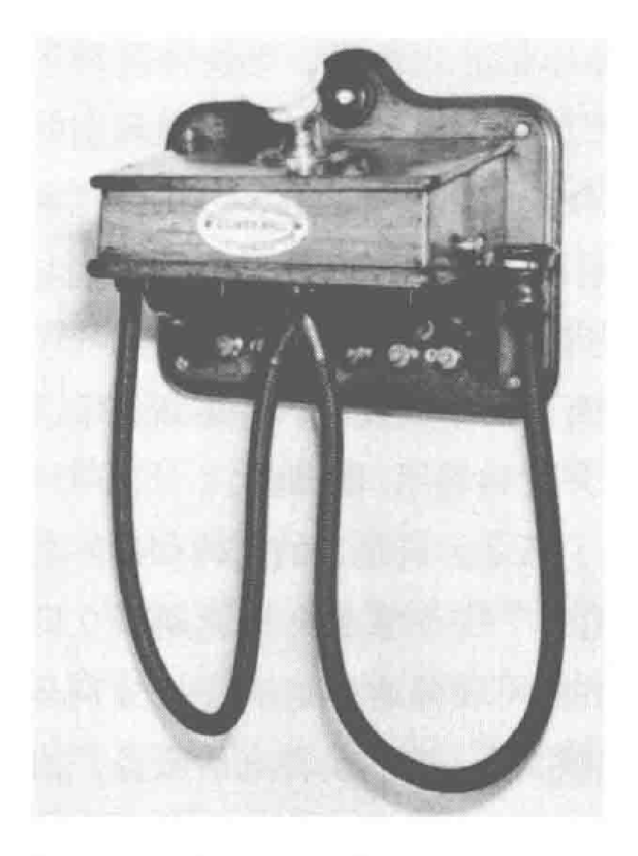


图 50.1（a） 高尔-贝尔电话机，1880 年 2 月。

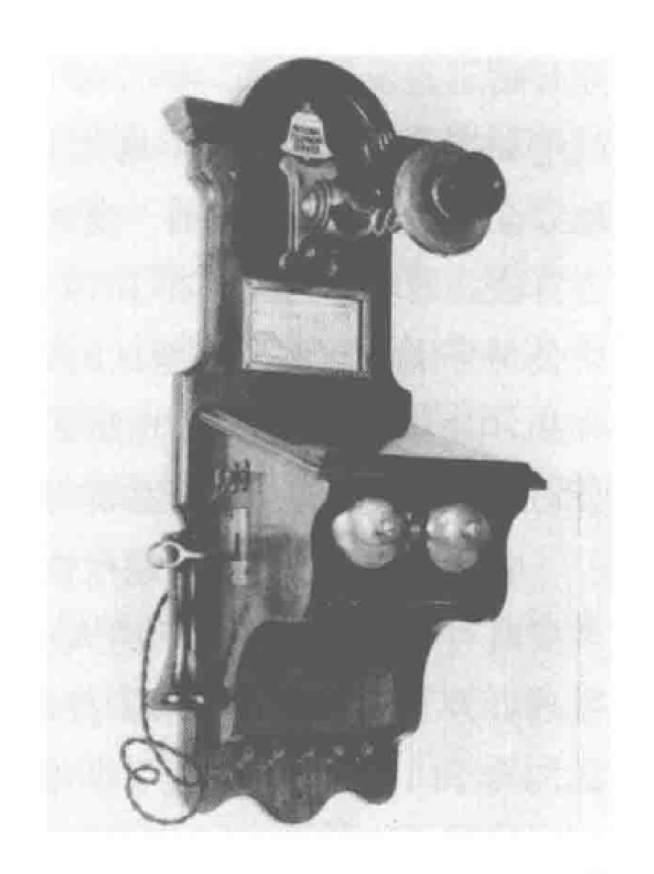


图 50.1（b） 国家电话公司的电话机，I 型，供有中央电池组的电话交换机使用，约 1910 年。

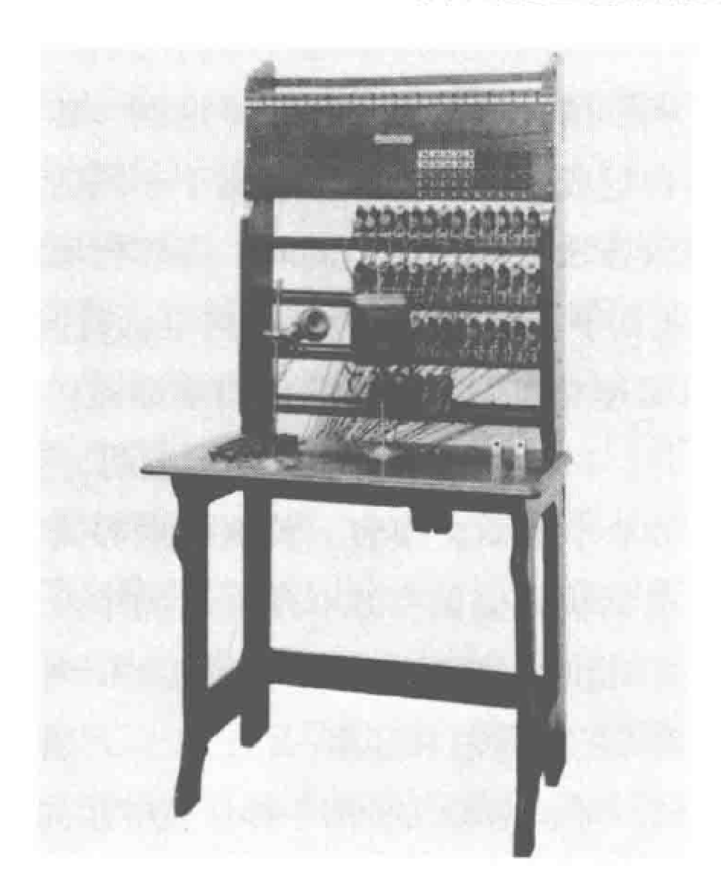


图 50.2 琼斯电话交换机，1879 年由美国俄亥俄州辛辛那提市电学家琼斯兄弟（C. E. Jones & Brother）制造。

交换装置使他们彼此接通电话的构想，在1877年以前就在美国和英国一些地区的小范围电报业务中得到实现。这一年，美国有一两个小型的私人电话交换机在试用。第一个营业性的电话交换机设立在康涅狄格州的纽黑文，它在1878年1月28日开业，有8条电话线路（连接21台电话机），借助每个终端都有的一个插头的直通线路，把用户的电话机成对地连接起来。在它上面还装有呼叫的“信号器”，使用的是用户专用电池提供的直流电。6个月后，在康涅狄格州的布里奇波特，又有一个可以连接20条线路的电话交换机建成并投入使用。同年，美国地区电报公司采用爱迪生电话交换机，在芝加哥开办电话业务。这种电话交换台也是采用单塞绳的方式，直接将用户的电话相互接通。呼叫用户时，原先装有电报装置的用户通过电报机进行，其他用户则启用呼叫继电器。这种电话交换台发展得很快，而且每个交换台内需要若干交换机，因为在大多数情况下，要通过交换机之间两个接线员的两道接转手续后，才可能接通电话。正是出于这方面的需要，西部电气制造公司的工程师斯克里布纳（C. E. Scribner）发明了“大闸刀”式开关，这种插接开关就是众所周知的“插座”的前身。

1224

1879年完全可以视为电话交换机的发展年。这一年里，通过引入中继转换杆实现了双塞绳互连，可使一整套拥有25条线的电话交换机组运作。由于采用“复接’的方式，每个接线员都能够凭借遍及整个电话交换机组中通往电话用户的外出通路的重复使用，直接接通每个用户的电话，此外还有若干单独的占线测试装置。1879年8月，英国首次采用了这种电话交换机，由（贝尔）电话公司在伦敦科尔曼街（Coleman Street）开设，装配有呼叫指示器、塞孔、塞绳和连接杆等。

1225

毫不讳言，20世纪上半叶的电话交换机普遍是手工操作的，这跟技术发展的状况直接相关。在此期间，也有不少技术和操作上的改

进措施。例如，当操作人员将呼叫插塞触及塞孔的外圈时，就会发出“嘟嘟嘟”的信号声，提示接通了电话，同时还使用了小信号灯来显示呼叫信号和监控信号等。事实上，并非只有这一种类型的电话交换机。1880 年，美国的国家贝尔电话公司采用了一种由一系列水平向连接杆和垂直向连接杆交叉排列而成的电话交换机，每根垂直向连接杆分别与每条电话线路的终端相连接，把插塞插入任何一个水平向连接杆与两条需连接的电话线路之间的交叉口，就可以实现互连。在英国，爱迪生电话公司使用的装置与此相似(图 50.3)。不过，这种电话交换机不能发挥“复接”式电话交换机(图 50.4)的作用，不久便被淘汰了。

1226

电话用户分别依靠自己的电池供电，这种做法显然并不可取。早在 1880 年，在波士顿就采用了一种共用电池信号设备，与电话交换机上的中央电池组相连接。使用中央电池组的电源进行通话和发信号，首先在马萨诸塞州的列克星敦投入商业性运行，这是 1893 年的事情。

在几十年的时间里，一直没人提出使用自动电话交换机的要求，主要原因在于雇用话务员花钱比较少，购买新设备花钱则比较多。尽管如此，堪萨斯城的斯特罗夫格(A. B. Strowger)最先研制出自动电话交换装置(图 50.5)。1897 年，第一台自动电话交换机投入商业

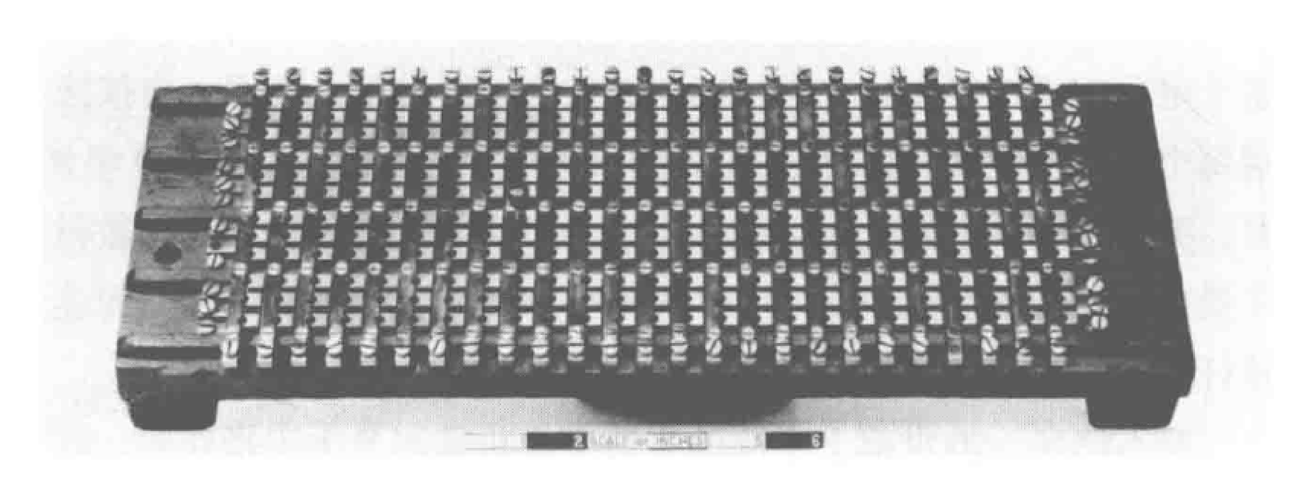


图 50.3　爱迪生横杆电话交换机组，1879 年。

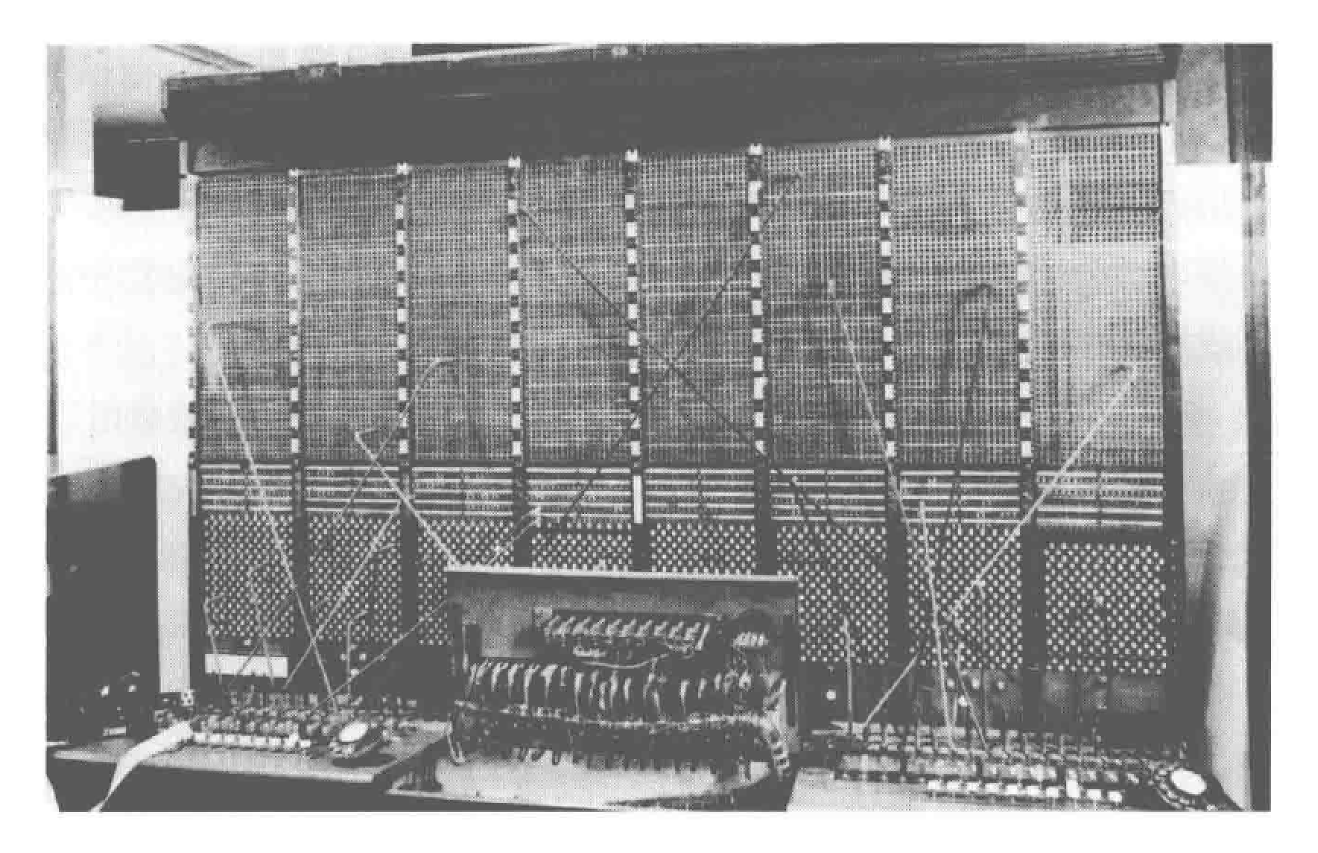


图 50.4　复接式电话交换机，1925 年（邮局 CB_1 型）。

性经营使用。到 1898 年时，美国已经有 22 台自动电话交换机。直到 1912 年，英国的第一台自动电话交换机才在埃普瑟姆市出现。

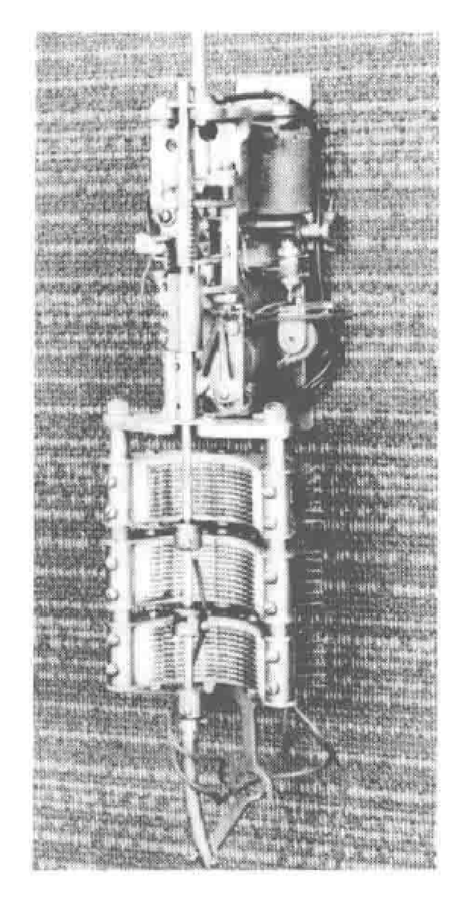


图 50.5　斯特罗夫格自动电话交换机。

市内电话网的发展　由于电话交换机数量的增加，有必要把邻近地方的电话交换机彼此连接起来。通向用户的电话线路一般都是单线式的，用接地回线。这样，在电话交换机之间采用单线电话线路的连接方式进行连接，没有什么困难。在美国，除了考虑电话传输和商业利益之外，没有其他制约电话交换机之间电话网发展的阻力。可是，在英国发展电话网却受到了执照制度带来的法规障碍。在英国邮政

局颁发的营业执照上，公司的营业范围只限于半径 4 英里或 5 英里内，使得电话公司不可能建立起市内电话网。1884 年，这一法规被取消，

1227

此后逐步建立起一些著名的市内电话网，其中最突出的是兰开夏郡和柴郡电话公司，它们在 1886 年时已经建成大约 3000 千米长的市内电话线路。

长途电话 影响有效实现长途电话通信的主要障碍，显然是相邻导线上的电报信号。这种“感应现象”能对长途电话通信产生严重干扰，甚至还会干扰短途电话通信，从而严重妨碍了距离超过 50 千米的长途电话通信。除非在夜间电报通信停止后，电话通信才不会受到干扰。这种干扰现象的产生，主要是由于使用有接地回线的单线线路。早在 1877 年，就有人提出过使用“金属”的不接地电路，即双线线路或金属线回路。在这种线路中，两条导线上所产生的外加感应现象必然是相反的，彼此趋于抵消，特别是在两条导线呈捻合状时，每条导线与干扰源具有相同的平均距离。人们虽然初步掌握了技术上解决这些感应现象的知识，但当时仍然采用单线线路，因为改用金属导线的电路需要较大的投资。直到世纪之交，金属导线的电路才在不同程度上被普遍采用。不过，早在 19 世纪 80 年代初，就有一些采用金属导线电路的典型事例。例如，在美国的波士顿和普罗维登斯(Providence)之间，1882 年就开辟了一条全长约 80 千米的电话线路。在这条线路两端的专用电话交换机中，就有金属线回路支线通向专门的用户。另一个典型例子出现在英国，从 1881 年初起，包括在南威尔士的全长 130 千米的长途电话线路在内，英国邮政局使用的全部电话网全都采用金属导线电路，取得了较好的通话效果。

感应现象的产生，不是影响长途电话通信的唯一问题，另一个问题是铁导线传输的话音质量不好。因此，从 19 世纪 80 年代中期开始，铁导线就逐渐被淘汰了，大多数长途电话线改用铜导线或磷青铜导线。

为了能够继续使用在电报线路附近地区的单线电话线路，范里塞

尔贝格(François van Rysselberghe，比利时人)提出了一些专门用来抗干扰的方法。他在1882年初指出，电报线路对电话线路所起的干扰作用，主要是由于电报脉冲的迅速升降所必然出现的瞬变现象。如果在电报线路上用适当的扼流圈连接，就可以使与之相邻的电话线路上所受的干扰降低到符合要求的程度。这样，就可以采取比较简单的方法，即采用电容耦合的方法，把电话线路有效地附加在电报线路上。用这种既巧妙又经济合算的方法来解决长途电话通信的问题，显然是切实可行的，立即在比利时得到采用，不久别的地方也相继实施。当时，欧洲和其他许多地方都已经大规模地扩建了许多电报线路，利用它们进行电话通信花钱不多，很有吸引力。到1887年年中，欧洲已经建立起长途电话网，电话线路总长达1.7万千米以上，全都采用范里塞尔贝格的装置。包括南美、中国和日本在内，世界许多地方也使用类似电话线路。

1229

在英国，由于有关政府部门实行不利于电话发展的政策，在长途电话线的发展方面显然比较落后。1889年，为数众多的电话公司合并成立国立电话公司，此后的情况有了相当大的改观。1896年，在社会公众的强烈要求下，邮政局建成了一个名副其实的长途电话网(图50.6)，并用强制手段收购并合并了国立电话公司的长途电话线路，只给公司留下了当地的系统和用户。在欧洲大陆，当时长途电话网已经发展成一个主要的互相联系的系统(图50.7)。由于具有重要作用的电话线路需要加速发展，长途电话网也就迅速得到扩展和加强。到这时，各地都普遍采用金属线回路的电话线路，从而使电话线路与电报线路分离开来。除了在某些特殊情况下仍然继续使用外，范里塞尔贝格的装置大都渐渐被闲置或替代。

1230

在美国，发展长途电话的兴趣甚至比欧洲出现得还要早。从1879年起，就有许多长途电话的实验在进行。1884年，南新英格兰电话公司创办，它在纽约和波士顿之间建成了一条使用金属线回路

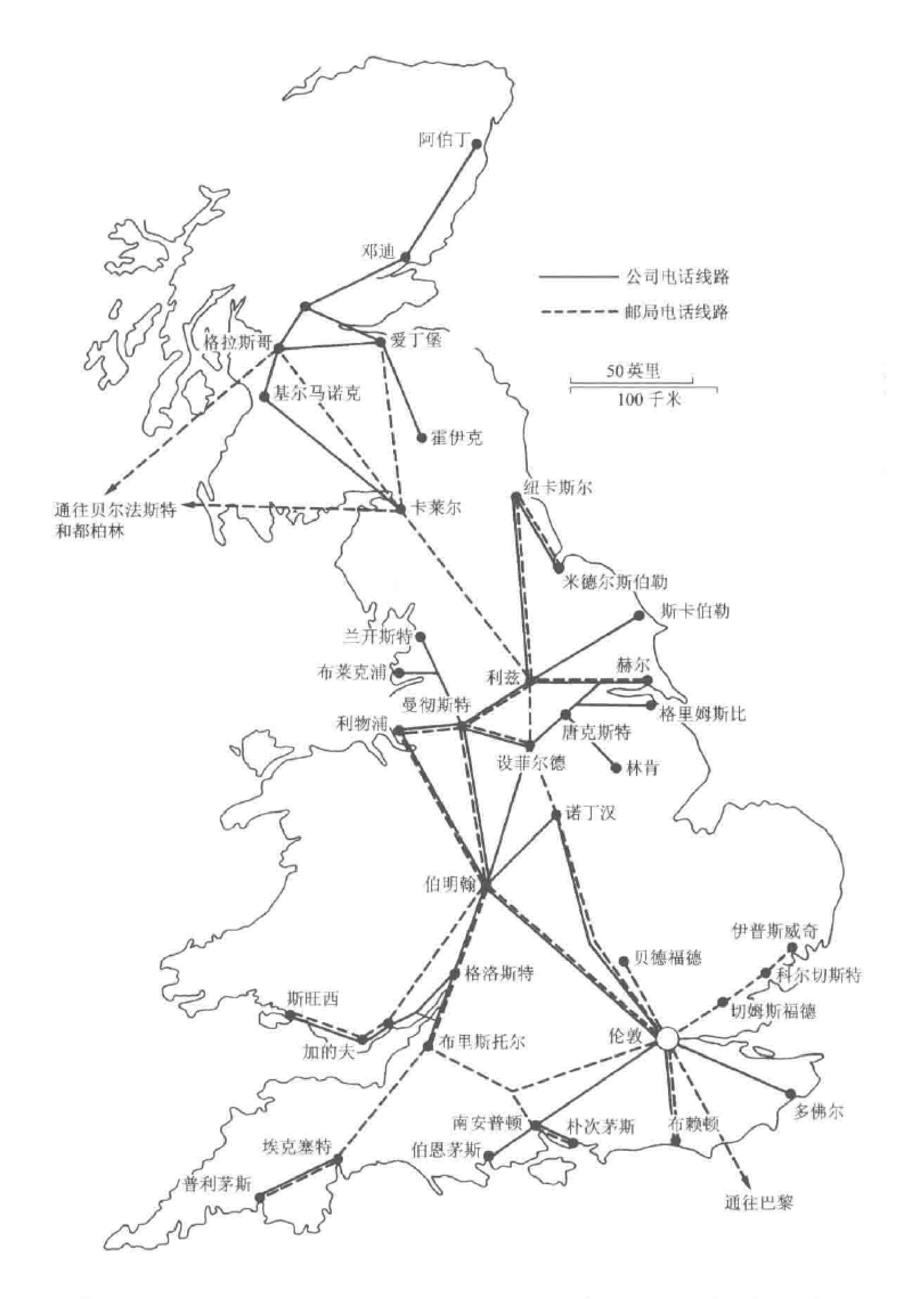


图 50.6 英国在1896年的长途电话网。图中分别标明由邮政局建造的电话线路和接收过来的国立电话公司建造的电话线路。

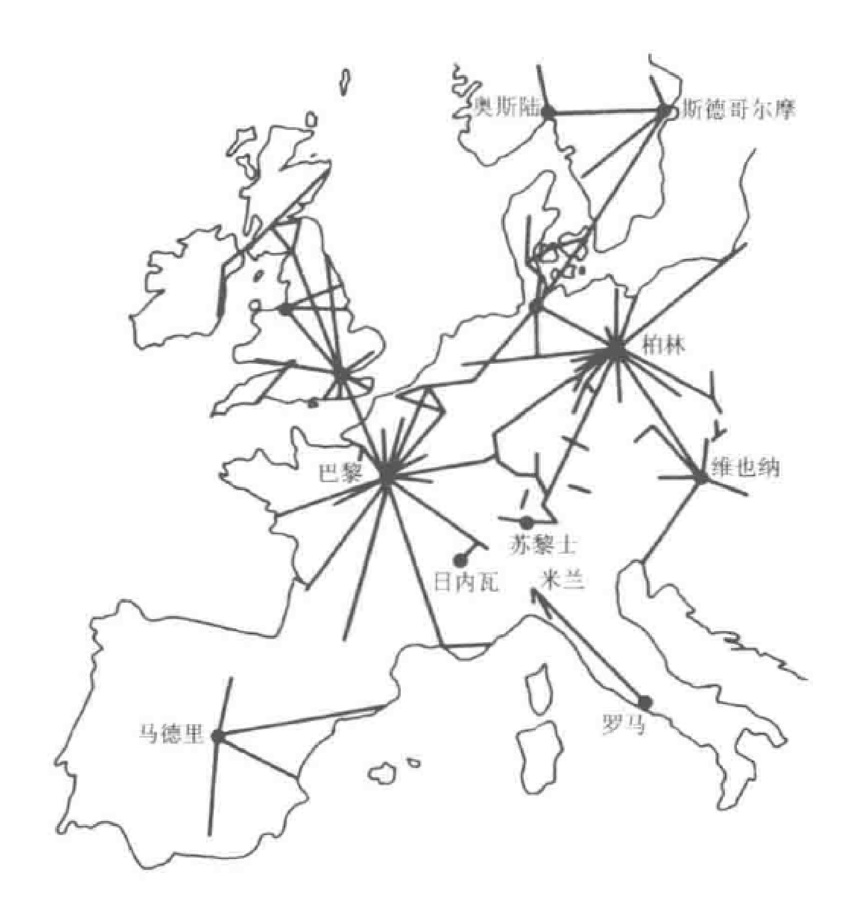


图 50.7　欧洲在 1896 年的长途电话网。请注意，这张图是根据收集的资料绘制的，其中很可能无意中遗漏了某些重要的在资料中未查到的电话线路。

的电话线路（声称是刚建成的第一条使用金属线回路的长途电话线路）。这条电话线路长约 450 千米，面向广大公众营业，投入使用后的效果令人非常满意。1886 年，新创办的美国电话和电报公司（简称 A.T.&T.）——人们通常称之为“长途电话公司”——以及一家贝尔电话子公司，着手计划建造好几条长途电话线路。1887—1889 年，它们建成了约 700 千米长的几条电话线路。1892 年，在这些成果的基础上，又采用金属线回路建造了一条从纽约到芝加哥的直通长途电话线路，使用的 8 号铜线（121 千克 / 千米）比以前的 12 号铜线（48 千克 / 千米）粗得多。这条电话线路的两端可以分别延长到波士顿和密尔沃基，使两者之间实现直接通话，因而这条线路全长达 2100 千米左右。然而，这样长的电话线路被认为有点超过了合格传输的极限。在纽约和芝加哥，通常都使用专门的隔音电话间。

到20世纪初，美国电话和电报公司的电话网已经把美国东半部地区的重要市镇都连接起来。1915年，第一条横贯美国大陆的电话线路开通。但是，这条从纽约到旧金山的电话线路使用时需要依靠负载线圈，以及最重要的电话增音机或放大器的应用。

50.3 无线电发展的早期阶段（19世纪—约1910）

无线电的起源 从1838年起到19世纪末，进行过许多这样的通信试验，在没有导线连接的情况下，两个人用电子信号进行通信，这导致了“无线的”通信概念的产生。这种通信方式的试验大多靠传导来进行，通常都用水作导体，或者靠带有被传输信号导线的有效线圈之间的电感耦合。通过各种试验，人们得出了横跨港湾或较狭窄海峡进行通信的一些实用结果。但是，用这种方式进行远距离通信的可能性很小。对于波长达几百千米的电报信号或电话信号的相应频率上一个恒定传输功率来说，电感耦合产生的接收信号功率是变化的，在传输距离比线圈直径长、比波长短的条件下，它与传输距离的6次方成反比。因此，这种使用电感耦合的通信方式，只能进行近距离的通信。现代无线电通信的产生，主要应当归功于辐射电磁波的利用。辐射电磁波传输到某一远点的功率，仅与传输距离的平方成反比。

1231

1864年，麦克斯韦（James Clerk Maxwell）在关于电磁特性的数学描述中，提出电磁波的概念。他认为光就是一种电磁波，并预言波长比较长的电磁波辐射的传播速度和光速相同。在自由空间中的来自远方波源的电磁波，具有相等能量密度而振荡的电场与磁场相互是垂直的，并且也与传播方向垂直。在麦克斯韦提出电磁波理论后，许多人对此进行实验研究，提出了一些新的观点[4]。然而，电磁理论是由赫兹在1887—1888年的实验研究中加以证实的。他的实验结果清楚地表明，电磁波可以在电气设备中通过足够快的扰动（即火花放

电）产生出来，波长（在他的实验中，电磁波的波长在0.5米和10米之间）是电路参数的函数，它显示共振响应，是一种偏振波，可用导电材料制成的平面镜和曲面镜来反射电磁波，也可用绝缘材料（即不导电的材料）来折射电磁波。赫兹的研究为无线电通信奠定了基础，但后来的许多科学家基本上都忽视了它在通信方面的潜力。直到马可尼（Guglielmo Marconi）的研究成果问世[1]，它才引起关注。

在赫兹和马可尼的两个时期里，另一项重要的技术发明是金属屑检波器，这是用来检测电磁波的一种装置。在此之前，赫兹用过一种相当不灵敏的装置来检测电磁波的接收情况，检测被固定于不闭合的线环末端的小球中间所发出的小火花。金属屑检波器实际上是在两条金属接触线或两块金属接触片中间，装填了大量非常小的导电粒子（典型的金属屑）的绝缘管。这一装置的电阻通常很高，因为它的内部很小的导电粒子之间的接触是不良的。但是，当检波器附近出现放电现象时，或者将伴随着电磁波产生的高频电压施加于检波器末端的导线时，检波器内部很小的导电粒子屑便在某种程度上粘住或凝结在一起，电阻便迅速降低，并可以用带有某种显示器的局部电池组的电路探测出来。当时，还必须用机械轻叩，把金属屑检波器中被粘在一起的导电粒子重新分开，恢复到原来的高电阻状态。

1232

金属检波器的发展有一个很长久的历史过程，实用检波器主要是由布朗利（Edouard Branly，法国人）在1890—1891年研制成功的。不过，洛奇（Oliver Lodge）也声称自己研制了实用检波器。事实上，他确实沿着类似路线做了大量工作。

马可尼和其他先驱者　早在1894年，当时还很年轻的马可尼几乎没有接受过专门的科学训练，却已经意识到把赫兹的研究成果应用到商业性电报中的可能性。在意大利博洛尼亚附近的格里丰镇（Villa

1　顺便作一个有趣的注释。贝尔在1878年，不久之后还有别的人，都曾经在光调制的通信中使用硒作为检波器，演示了电话技术。这也是利用电磁波的一种无线通信方式。但当然，它与无线电的发展毫不相干。

Griffone）自己的家里，他开始了这方面的实验研究，不久就研制出一种室外天线，天线的下端与接地的导板相连接。他还研制成一种感应线圈，可以用来在电报键的控制下进行瞬态放电。他也使用金属屑检波器来检波，并对检波器的设计进行了改进，用镍屑中含有4%银屑的混合物作为检波器中的导电粒子，同时还把检波器管子内的空气抽掉。在此基础上，他成功地实现了在2.4千米范围内的无线电通信试验。

马可尼关于研究无线电通信的设想，从未受到意大利政府当局的重视。1896年2月，他携带自己的实验设备到了英国。不久，得益于英国邮政局的支持，他在索尔兹伯里平原和布里斯托尔海峡两岸，成功进行了能够传输好几千米的无线电报通信演示。马可尼也同英国海军部和陆军部保持着有益的接触，并与海军高级军官杰克逊（H. B. Jackson）有着友好关系，这位军官也是一位无线电（尤其是在海军中应用无线电）的先驱者。可是，马可尼与邮政局的友好关系，却在1897年结束了，这是因为他在开设一家商业公司开发自己的专利时，英国政府拒绝付钱。接下来，马可尼仍然继续进行无线电通信的试验研究。1898年5月，他进行了从阿勒姆湾到伯恩茅斯的无线电报通信试验，海上传输距离达23千米。1899年3月，他成功地进行了从布洛涅附近的维姆勒到多佛尔附近南海岸的灯塔的无线电报通信试验，这段跨越英吉利海峡的传输距离长达50千米。

1901年12月12日，马可尼试图用无线电报进行跨越大西洋通信的长期研究计划获得了一部分的试验成果。他宣布，在纽芬兰的圣约翰斯设置的无线电台上，接收到了从康沃尔无线电台发出的事先设置好的电报信号。这些信号包括用莫尔斯电码组成的一连串S字母——每个字母由3个点组成，传输距离超过了3500千米。上述试验的情况没有可靠的记载来证实，所以始终令人怀疑。不过，如果以现代科学知识为依据，重新分析评价马可尼的试验，也没有足够

1233

的科学依据来否定他[5]。当时，还没人猜想到在地球高空的大气层中有反射层，它们可以把波长大约在600米到30米（频率大约0.5—10兆赫）之间的无线电信号反射回地面。然而，无论马可尼在纽芬兰的上述试验是否真实，他的一些成果都是毋庸置疑的。1902年2月，他使用了许多比较好的设备，在普尔杜（Poldhu）和“费城号”（Philadelphia）海船相距2500千米左右的范围里，成功地进行了无线电报通信的试验。另外，他还在印字纸上得到了地道的电报信息的记录。此后，只经过了6年时间，马可尼就创办了横跨大西洋的商业性无线电报业。

在无线电通信实际应用的领域，确实有几位科研工作者各自完全独立地进行研究，例如赫兹、洛奇、布朗利和另外一些人。要确定他们取得研究成果的先后次序是很困难的，但现在似乎普遍认为，马可尼的发明比杰克逊（前面已提到）、斯拉比（A. C. H. Slaby，德国人）和波波夫（A. S. Popov，俄国人）等的发明略早一些，取得的研究成果无疑也比较大。这3个人是马可尼最势均力敌的竞争对手。

无线电技术和无线电业的早期发展 马可尼早期在意大利和英国进行试验所使用的发射机，可被视为仍是以赫兹使用过的发射机为基础制作的。图50.8（a）就是这种设备的线路图。在这种发射机中，当按下电报电键K使它产生“标记”信号时，便会引起感应线圈IC开路和闭路接点产生振动。每当接点开一次或闭一次时，原线圈内的电流便会产生突然的变化，在感应线圈铁芯内的磁通量也会相应地产生突然的变化，从而在圈数为主线圈许多倍的副线圈内产生巨大的电动势（e.m.f.）。发射天线A_1与地面之间，实际上形成了一个电容器（当时叫“聚光器”）。因此，当副线圈产生巨大的电动势时，便会引起电荷从线圈流向天线。由于天线的电荷增多，天线A_1与地面之间的电压也就逐步升高。最后（在比感应线圈IC的接点振动周期还短的时间间隔之后），当这种电压足够高时，便会引起放电器G的金属

球之间发出火花放电。这时，存贮在天线电容中的电荷则会通过火花放电产生的电离气体的传导通道突然放出。它以短暂的衰变脉冲方式为电磁波的产生和发射提供能量，持续时间比感应线圈接点振动的周期要短得多。发射的电磁波的频率和波长，则是由天线 - 放电器电路的电容和电感所决定的。

图 50.8 (b) 中所描述的接收机，是早期进行无线电通信试验时，使用的一种很有代表性的装置，其中的接收天线 A_2 同发射天线 A_1 非常类似。当接收天线 A_2 接收到无线电波的脉冲信号时，金属屑检波器 D 的电阻就会降低。这样，通过接收指示器 R 的电池组电流就会增大，使 R 运作。然后，用金属屑检波器上的一个机械触点，

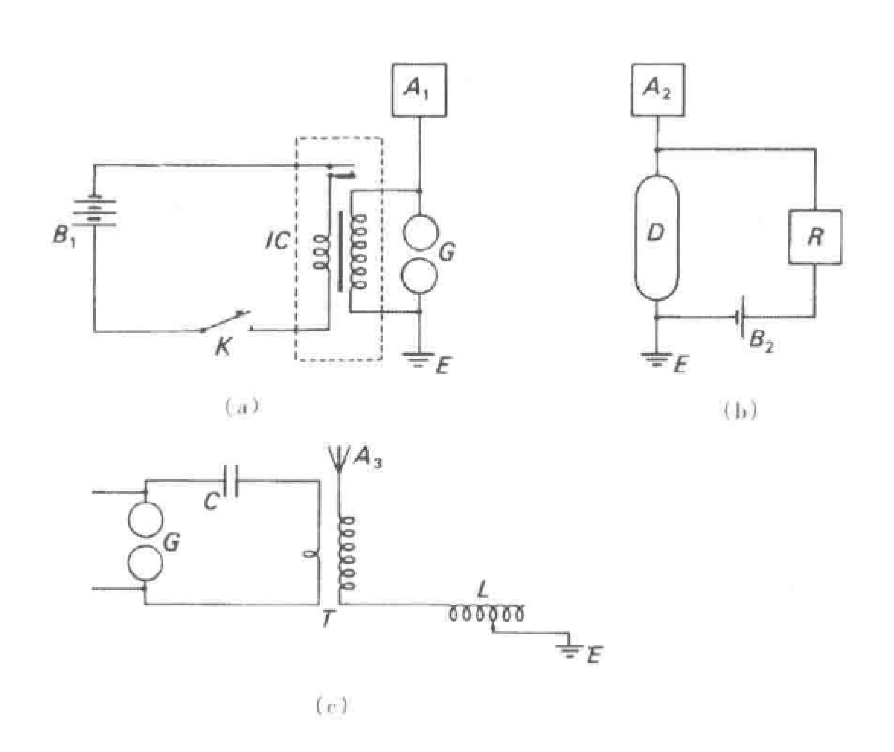


图 50.8　马可尼使用的早期无线电装置的电路。
(a) 发射机，1896—1897 年；
(b) 接收机，1896—1897 年；
(c) 发射机的调谐装置，1900 年。在接收机中使用的调谐装置，其电路也与此相类似。

图中，A_1 = 盘形发射天线，A_2 = 盘形接收天线，A_3 = 触角天线，B_1、B_2 = 电池组，C = 电容器，D = 检波器（即金属屑检波器），E = 接地线，G = 放电器，IC = 感应线圈，其中装配有铁芯和磁性开路、闭路接点，K = 电报电键，L = 具有调节装置的调谐自感线圈，R = 接收仪器（莫尔斯声码器、油墨印码器或电话听筒），T = 变压器或耦合线圈。

使电阻自动恢复到其原来的高值。保持电报电键 K 被按下状态的时间和一个标记信号的持续时间一样长，而这一时间大大超过了感应线圈接点振动的周期。电报信号就是由一连串电磁波短脉冲信号组成的。

这些简单的电路中，没有非常确定的固有频率。因此，马可尼的早期实验涉及射频频谱非常宽的电磁波，这种情况意味着相邻的无线电通信线路会相互干扰。当试着用无线电报在高速行驶的军舰之间进行通信联络时，这种干扰显得尤为严重。要解决这一难题，就必须利用调谐［当时叫“谐振”（边码 1113）］原理。在 1897 年前的几年里，洛奇已经发现了这一原理。调谐原理是指发射机电路和接收机电路在相同的频率谐振，因此发射频带更狭窄，接收机对这一频带比对其他任何频带都要灵敏得多。马可尼不愿意使用洛奇已经取得发明专利的成果，最终自己设计出一种如图 50.8（c）所示的在发射机上使用的调谐装置，达到了预期的使用效果，并且没有侵犯洛奇的专利权。不过，关于马可尼是否侵犯了洛奇调谐装置的专利权问题，曾经有过争议。在这种调谐装置中，利用可调电感 L，天线 A_3（此时该天线已是一根金属丝，取代了原来的盘形天线）的频率被调整到已调谐的放电器电路的频率。不过，耦合比较松的变压器 T，致使天线的调谐和放电器的调谐相互之间极为独立。在接收机中，也有一个和这种装置相似的双调谐装置，实验结果表明了它的成功。

1235

在 1900 年以后的一段时间里，发射机和接收机被迅速做了许多改进。在这里只能提一下其中少数几个事例。当时，连续使用了几十年的火花式发射机，仍然被作为航海通信设备继续使用，但由于它有着严重的缺陷，就点与点之间的无线电通信而言，基本上已经被弧光发射机和高频发电机式发射机所取代。弧光发射机由达德尔（W. Duddell，英国人）在 1900 年首先采用，是一种采用简单的直流电弧并使其与谐振电路相连接的装置。在这一装置中，电弧的负电阻特性

(即电压-电流曲线的负斜率)能在电路谐振频率处产生振荡，功率从直流电中产生。1903年，波尔森(V. Poulsen，丹麦人)又对这一装置做了一系列的改进，其中包括使用水冷式铜阳极、封闭的氢雾和施加一个强磁场，以便熄灭每一周期部分时间中的弧光。经过这些改进后，这一装置工作效率显著提高，许多重要的无线电台使用了长达几十年。高频发电机式发射机是一种旋转机械的特殊类型，可以用来发出频率高达100千赫的交流电。1907年，亚历山德森(E. F. W. Alexanderson，美国人)成功地研制成这一装置。无论是波尔森电弧还是高频交流发电机，最终提供给发射机的功率都达到500千瓦左右。

在电磁波的接收方面，金属屑检波器首先逐步被电磁检波器所取代。这样的电磁检波器是卢瑟福(E. Rutherford，英国人)首先发明的，他在1896年通过实验验证了电磁波在铁线的磁性上产生的效应。1902年，马可尼运用这一成果研制成一种电磁检波器(图50.9)。这种装置用时钟机构来驱动软铁线或软铁带，使它连续不断地通过一个永久磁场，从而对传导天线电流的线圈进行检波。它在接收到无线电波时，会使导线突然去磁，从而引起与线圈上的副线圈相连接的电话耳机发出“嘟嘟”声。从长远的观点来看，在早期发明的无线电通信装置中，最重大的技术发明是1906年由邓伍迪(H. H. C. Dunwoody，美国人)发明的矿石检波器或接收机。至于把非线性线路元件用作检波器的创意，应当归功于普平(M. I. Pupin，美国人)，他在1898年使用了一种电解质整流器。整流器这类检波器出现的最重大意义，也许就在于它不仅可以在无线电话中使用，而且还可以在无线电报中使用。

1236

有好几位早期的无线电研究工作者，都提出过用无线电传送语言信号的设想。虽然勒布朗(M. Leblanc，法国人)早在1886年就提出过用语言信号调制高频电流的设想，但直到1902年，费森登(R. A. Fessenden，美国人)才首先通过实验证明可以用调制无线电波的方式

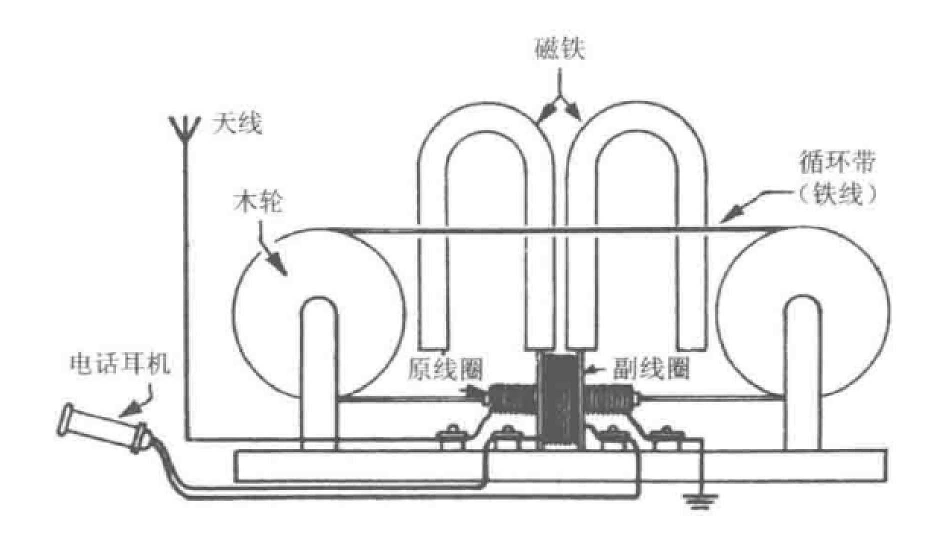


图 50.9　马可尼的另一个电磁检波器，1902 年。

来传送语言。为了达到这一目的，他使用了一种由交流发电机产生的连续振动波。当时，他先后采用的调制无线电波的方法中，最成功的似乎是最简单的，它就是与常规的电话话筒调制直流电流相同的方法，通过一个话筒直接调制发射天线的电流。此外，还可以用波尔森电弧产生的电磁波来传送语言，甚至也可以通过由瞬态放电方式产生的电磁波来传送语言。但是，在热阴极电子管还没有得到普遍应用的时候，无线电话的发展速度十分缓慢。

无线电报成功地进入商业服务，乃是 1900 年以后的事情。后来，它的使用扩展到了全球范围，我们将在后面加以阐述。

50.4　电信技术的发展

前面两节叙述了电话和无线电通信的起源，叙述了在这些领域的重大技术发明和技术进展，以及由此开始建立起来的前程远大的快速通信方式。本节将进一步叙述那些导致电信现代化的重大技术进展。

热阴极电子管的影响　毋庸置疑，热阴极电子管的应用对促使电信发展为现代模式具有重大影响。但是，在热阴极电子管发展的初期　1237

阶段，它的作用却非常小，而且是缓慢地呈现出来的。

热阴极电子管发展的历史，我们已经作过概述（第46章）。虽然热阴极电子管作为一种二极管整流器被发明出来，但它对后者并没有多少作用。德福雷斯特（Lee de Forest，美国人）在1906年发明的三极电子管或三极管是一种粗糙的装置，甚至连发明者本人对它也不太了解，所以好几年的时间里，这种三极管的使用效果都不太好，有些三极管是作为放大器来使用的。但是，在1912—1915年间，三极管的发展出现了真正的突破，当时采用的三条重要措施全都取得了良好效果。第一，采用了从输出到输入电路的正反馈回路，从而把三极管用作振荡器，或用作射频振荡发生器；第二，同样采用正反馈的方法，但小心地把正反馈调整到使之不会发生振荡，从而把三极管用作放大倍数非常高、调谐选择性也非常高的放大器；第三，通过对阳极-阴极电流与阳极-阴极和栅极-阴极电压之间特性曲线的分析研究，来了解三极电子管的工作原理，并对电子管的电路进行定量设计。阿姆斯特朗（E. H. Armstrong，美国人）对这些改进所作出的贡献最大。但是，正反馈方法的发明有过相当激烈的争论[6]。经过这些改进，就有可能在调整和控制的频率上，获得比较完美的射频功率，从而使无线电话通信获得了初次成功，并且使制造选择性很好、非常灵敏的接收机成为可能。由于上述因素，加上第一次世界大战对无线电通信发展所起的刺激作用，无线电通信和不久后发展起来的无线电广播都以飞快的速度发展。

以热阴极电子管为基础，出现了许多其他技术发明，进而导致了无线电技术的重大发展。其中，最重要的一项技术发明是采用超外差原理，极大地改进了接收机的设计。超外差原理的提出应当归功于费森登，他在1902年提出了这样一种设想，在输入的无线电信号与本地频率振荡器发生的信号（两者频率相近）之间形成一种低频的“拍”音。但是，以电子管为主的超外差式接收机，则是由阿姆斯特

朗在1919年研制出来的。这种装置的优点在于，由于在接收时输入信号被有效地转变为频率低得多的信号，较低频率的信号很容易进行放大和选择，射频可应用的范围不断扩大，超过了当时能够直接进行有效放大的范围。此外，这一装置在固定的中频段接收时，选择性更好。对于20世纪20年代中期开始出现的无线电广播来说，这一点特别重要。

1238

把热阴极电子管应用到无线电中的进程相当缓慢，它在有线电话中的应用同样也推迟了很长时间。在美国，为了解决长途电话中的难题，早在1900年就有人提出在电话线上使用放大器的设想。到1903年，一种必须以电话话筒和听筒的相互耦合为基础的机电“增音器”研制成功[7]。但是，这样的放大器当时仍未广泛使用。1915年，在纽约与旧金山之间开辟了第一条横跨北美大陆的长途电话线路，并在这条线路上最先使用了放大器。此后，许多电话工程师最终都纷纷采用热阴极电子管作放大器，使原来的机电式放大器迅速被取代，从而达到了更好的通信效果。以电子管放大器为基础的长途电话装置，可以使用比较细的电话线，还可以使用地下电缆，同时能够获得好得多的通话质量。这种有放大器的电话线路试用了几年，那时用同一对电话线路向两个相反方向传送信号。后来，向每一个方向通话时使用一对独立线路成了标准做法。

调制、边带、载波电话　在1950年之前的20年间，长途电话网得到了迅速发展，这不仅是由于发展出提供中继电路的新途径，而且在很大程度上是由一些新方法的有效性及由此获得的经济效益所引起的。毫无疑问，正如我们在下面的叙述中将要看到的那样，负反馈的采用乃是引起中继线路迅速增长的主要因素，它的基本思想则在19世纪中叶就已建立起来。

在20世纪30年代，长途电话网发展的一个重要特点是在电话线路上使用很宽的频谱。这一频谱划分成若干条宽度大约4千赫的频

带，每条频带传输一条话音信道。这种频率分配的方式被称为"频分多路传输"(f.d.m.)，所有来自电话用户的话音信号都必须转化为所分配的频带内的频率。实现这种转化的方法，则是与"载波音调"一起调制，或者说就是"载波音调"的调制。当然，传送谈话或节目内容时，射频频谱的使用和20世纪初期类似，使用的方法和当时调制的基本方法相同。至少在1886年，这种基本方法就已经发明出来[8]。那一年，勒布朗阐述了一种用和自持音叉相连接的话筒来传送话音信号的方法，通过声波冲击振动膜的方式来调节振动的振幅，由此产生的电振荡便从音叉上的拾音线圈发送到电话线上。声波波形的包络也同样发送到电话线上，这样就可以使声波得到再现。但是，勒布朗接收装置的接收效果尚不甚清晰。不过，大约5年后，勒布朗与于坦(M. Hutin，法国人)合作研制出一种使用电谐振和功率计式接收机的装置，将不同的载波频率分配给不同的电话，由此产生了真正的频分多路传输装置。尽管这一装置当时还未发展到实用阶段，但它无疑是现今这类装置的先驱。

1239

关于无线电传送信号的调幅(A. M.)问题，似乎完全是由费森登在1900年前后独自提出来的。其实，真相并非如此。早在1894年，瑞利勋爵(Lord Rayleigh)就已经从声学的角度充分探讨过这个问题。不过，无论在线路还是在无线电的工作中，直到1915年前后为止，对边带都没有任何了解，尽管这种了解对于发展频分多路电话十分必要。假如话音信号用单一音调$e_S\cos\omega_S t$来表达，用$e_C\cos\omega_C t$来表示载波音调(即在勒布朗装置中的音叉音符)，那么已调制的信号便成为：

$$e_C\cos\omega_C t(1+me_S\cos\omega_S t)$$

这里，m代表调制深度。当然，还可进一步展开成：

$$e_C\cos\omega_C t\ [\text{载波音调}] + \frac{1}{2} m e_C e_S \cos(\omega_C+\omega_S)t\ [\text{上边带}]$$

$$+ \frac{1}{2} m e_C e_S \cos(\omega_C-\omega_S)t\ [\text{下边带}]$$

在第一项即载波中，没有包含话音信息，所有的话音信息都包含在每一个边带中。因此，在传输任何话音信息中，没有什么比无载波的一条边带更有用处了。如果只在每一个话音信道中传输一个边带，就可以最大限度地利用有效的功率和频谱。当然，要做到这一点，就需要把边带彼此分离开来。这一问题随着1915年滤波器的发明而得到解决（第46章）。在许多早期使用频分多路传输装置的有线电话网里，除了在每一条电话线上的正规直接话音（“声音”）信道之外，还用了一条载波信道。可是，在使用负反馈来实现多路操作以前，这种早期的频分多路传输装置的作用并不大。

趋近我们这个时代末（1950年左右），还有两种别的调制技术的发展曾经引起人们重视，并有着重要的意义。第一种是频率调制（F.M.）。这种调频技术在1902年就已经发明出来，但直到20世纪30年代初期才开始得到真正的开发利用。它是通过频率的变化而不是通过载波振幅来传输信息的[9]。第二种是脉冲调制。这种调制技术通过振幅和时间的变化，或者短脉冲序列的编码来传输信息。频率调制虽然具有过宽的频谱，但它具有受无线电系统衰减的影响较小的优点，同时通常还具有较好的抗噪声能力。因此，在重要的对通信质量要求很高的无线电业务中，有许多都使用频率调制技术。脉冲调制技术的特点则在于，它可以转化为数字的形式，这就使它和数据传输技术相一致，同时还使它产生出另一种多路传输的特性，即“时分多路传输”（t.d.m.）的特性。在这种时分多路传输的方式中，信号是从不同信道中按时间顺序抽样取得的。关于话音的时分多路传输问题，迈纳（W. M. Miner，美国人）在1903年首先通过实验进行了

1240

验证。但它的实际应用，必然要等到现代电子时代才有可能实现。在电报中应用时分多路传输的原理，早在19世纪70年代中期就已经开始了。

关于电话上的负反馈作用 我们在前面的叙述中已经指出，19世纪出现的关于长途电话网的调制和频分多路传输的概念，以及热阴极电子管的广泛采用，普遍地促进了电信技术迅速发展。在20世纪20年代和30年代初期，“载波电话”技术得到发展，例如通常被称为频分多路传输的装置。这种技术不仅用于没有中间放大器的明线长途电话网上，还作为双信道装置应用在有放大器的线路上。双信道中的一条是通常的音频信道，位于其上的另一条是大约在3—6千赫频率范围的载波信道。由于放大器的交调失真，限制了技术的进一步发展。由于热阴极电子管放大器的瞬时输出电压与瞬时输入电压不成精确的正比例关系，两者之间的关系是非线性的，这样就会在使用电子管放大器时出现输出信号失真的现象。这种失真现象在使用单一话音信道时，一般都表现得并不严重。但在使用两个或更多的话音信道通过同一个电子管放大器时，它就会表现得很严重。影响这种输出信号失真的因素，不仅有由不同信道的话音信号相互作用所产生的新频率信号，还有话音从一个信道转移到另一个信道中去的串音，这种“交叉调制”的串音通常是不清晰的，成了影响频分多路传输装置进一步发展的严重障碍。

重大的突破出现在布莱克（H. S. Black，美国人）发现负反馈以后，这一成果在1934年一经公布，便得到了广泛的应用[10]。这里，“负”（negative）这个词并不是通常的含义，用在这里并不十分确切，但也是有好处的，因为可以避免使这类反馈和另一类反馈相混淆。另一类反馈，就是在电子管发展初期使用相当广泛的正反馈。把输出信号中的一部分信号以与输入信号相反的方向返送到输入电路中去，这是对于负反馈的最简单解释。假定放大器的电压放大系

1241

数为 A，而反馈放大系数——例如电阻电路所确定的反馈系数——假定为 B，那么通过反馈的总放大系数便会从 A 减小到 $A/(1+AB)$。如果 AB 远大于 1，则放大了大约 $1/B$。换句话说，总放大系数的大小，实际上与 A 毫无关系。这就必然导致如果原先的放大是非线性的，使用负反馈后的放大实际上就变为线性的；如果原先的放大是波动的，使用负反馈后的放大实际上就变成恒定的。这样，就可以使两条信道之间的交叉调制串音减弱到任何所期望的水平。使用负反馈进行稳定放大时，则可为任何长途电话线路提供高得多的放大率。

由于这种负反馈的应用，自 1934 年以来，长途电话网的拓展一直没遇到别的严重阻碍。它在线路上应用十分宽广的频谱，在每一对导线上拥有许多信道。一般情况下，使用这种负反馈的基本信道组共有 12 条信道，频率范围在 60—108 千赫之间，其中允许有 4 千赫的信道间隔。几个或更多的这种信道组可以集合在一起，组成具有很宽频率范围的超级信道组。这样，就可以减少每个话音信道的导线费用，从而提供价钱比较便宜的长途电话通信，满足对长途电话业务不断增长的需要，还可以根据需要开办一种自动交换的用户拨号业务。

事实上，除了用来传送宽频带的专用电缆，波长在 10—30 厘米级的“微波”无线电通信线路也得到了普遍应用。宽频带电缆在整个频带内，损耗自然不是恒定的，必须提供“均衡”电路来校正它。

这里，有必要提到长途电话线路的“激增”问题。唯一的一次统计数字显示，在两个主要城市之间的长途电话线路的数量，到 1950 年时已经达到数千条。尽管负反馈发明的最明显效果是使电话干线电路实现了变革，但在电信技术以及在含义更广泛的电子技术中，负反馈的使用也促进了许多别的重大技术进展。精确的放大、

良好的频率特性、轻微的失真等不仅可以实现，而且可以进行计算和设计。

1242

电缆 在电话开始使用电缆通信以前的几十年间，长距离的海底电缆和短距离的地面电缆已经供电报使用（第V卷，第10章）。然而，人们从一开始就意识到，传输电话信号与传输电报信号所需要的电缆有所不同，只是当时对电话电缆的特点还不太了解。早期建造电话电缆还存在着一些困难，例如1882年，在英格兰泰恩河畔的纽卡斯尔（当地市政府不准许建造架空电线），建造的电话电缆规划清楚地表明，用电缆来传输电话是很困难的。后来，才建成了用杜冲胶绝缘的电缆。用当时的绝缘电缆进行电话通信，最大距离在6—7千米的范围内，可以听到清晰的谈话声。在对电话电缆的要求中，重要的是减少电缆的电容。1884年，在费城建成了用纱绝缘的铅包电缆。1889年开始使用的纸绝缘电缆，则成为沿用至今的标准绝缘电缆。用于本地电话布线的这种电缆，可以使用比较细的导线（例如，最后发展到5—10千克/千米的细导线）。不过，用于长途电话的电缆最初只能使用非常重的导线。早期重要的典型是1891年建成的第一根英-法电话电缆（仍采用杜冲胶绝缘），它有两组伦敦与巴黎之间的电话线路，在陆地上延伸的明线重量为150—200千克/千米，而35千米电缆中电线的重量大约为50千克/千米。

电话传输的原理由亥维赛（Oliver Heaviside）在1887年阐明，但此后的10年里并未被大家完全了解。大约从1901年开始，这一原理引出的负载线圈[11]得以使用，电话传输获得了重大改进，同时有可能将长达200—300千米的电缆用作长途电话线。涉及这种电缆的原理是，只有在固有电学常量——包括每单位长度的电阻（R）、电容（C）、漏电感（G）和电感（L）——具有合适的关系时，电缆才能达到良好的传输效果。亥维赛曾经证明，只有在$R/L=G/C$的条件下，才能实现无失真传输。可是，在电缆中的电感（L）是很小的。为了保持

低衰减，优质电缆的电阻、漏电感和电容都应当比较小。即使减少了电缆的电阻、漏电感和电容，也还需要使电缆的电感增加，才能达到上述等式的要求。为此，可以在普平新公式计算出的电缆间距上，增加与导线串联的线圈（在使用明线时，通常可以相当好地满足上述亥维赛公式的条件，因为这种导线的间距较宽，可以有比电缆更小的电容和更大的电感。即使这样，美国的某些明线也还要通过加感来提高传输效果）。

以电缆为基础的长途电话网的真正发展，始于采用热阴极电子管放大器。在此之后，才有可能使用每隔一定间距插入“中断器”（放大器）的相当轻而价格便宜的电缆，以达到非常远的距离，最终建成全球范围的电话网。随着调制技术和载波技术的发展，每一对导线能够实现多路通信，不过加感成了一种限制，因为出现超过音频范围的声音时，它以迅速断开电路为代价换得声音传输的改进。因此，到1950年前后，长途电话网就不再需要加感了。

1243

在电缆的导线对之间的串音，一直是一个难以解决的问题。为满足现代需求，导线被用各种方法缠绕起来，消除特定串音或平衡网络，事实证明这是行之有效的方法。大约自1935年以后，最主要进展之一是使用“同轴”电缆，它的每条电路的导线都被别的导线所包围。这种结构的电缆特别适合传输频带非常宽的信号，适合现代载波电话或电视信号的传输。电缆发展的一个重大突破是使用越洋电话电缆，其中内置了放大器和其他设备，这将在后面论述。

无线电天线　由于无线电天线（天线这个词在英国称为“aerial”，在美国和其他地方通常称为“antenna”）的理论非常复杂，初期采用边试边改的方法进行天线设计是可以理解的。早期的无线电研究者已经认识到，辐射电磁波的波长由发射天线谐振的调谐（若有的话）所决定。马可尼则发现使用更大、更高的天线时，可以产生波长更长的辐射，同时达到更远的接收距离。早在1898年，布隆代尔（A.

Blondel，法国人）就对垂直导线天线进行了理论上的论述，利用大地产生天线映像的概念，奠定了长波天线的理论基础。简单的导线天线（例如，笔直的垂直导线、T形或倒置的L形导线）中，i_A^2“有效高度”（h_e）成了有用的概念，这是因为天线的有效发射功率与 $h_e^2 i_A^2/\lambda^2$ 成正比。i_A 是指天线的电流，λ 是指辐射波的波长。当时制作的这种类型的天线，用来发射波长大约为1.5万米的无线电波，可以到几千米远或几百米高的地方。但是，这种天线的效率非常低，发射功率只有供应给天线的总功率的百分之几。到20世纪20年代初，人们采用各种装置提高天线的效率，包括采用复合调谐和伸长的接地线装置等，取得了显著效果，发射功率提高到供应给天线总功率的20%—30%。在各个水平方向，天线的辐射大体上是相同的。

1244

在20世纪第二个10年的后期，马可尼及其合作者富兰克林（C. S. Franklin）、朗德（H. J. Round）共同进行了波长在2—15米之间的短波无线电实验研究。人们（例如赫兹）早已知道，这样的短波可以借助反射器的方法进行定向传播，这种反射器用比波长大的导线网制作而成。通过这种方式产生出一种定向辐射，功率比在各个方向均匀辐射的功率要大几百倍。实际使用的辐射元的主要尺寸可以是半波长的，这样可以比长波天线具有高得多的效率。马可尼研究组使用上述装置，成功地进行了距离比较短的无线电传播，传播距离大约为100千米。后来，在1923—1924年间，辐射波长大约为100米的无线电波，使用上述装置的传播距离几乎达到2万千米。开发利用这种“波束”装置的过程，在本章别处已经论述过。富兰克林进一步研制出一种采用阵列装置的短波天线。在这种天线上，有许多单独的半波天线辐射元，把它们沿水平方向和垂直方向排列起来，彼此保持适当距离以使所有辐射元同相，组合成一个庞大装置悬挂在反射电线的前面。这种天线只能在一个限定的角锥体内有效地辐射无线电波，就辐射一定波长的无线电波而言，这种天线阵越大，辐射锥体的角度就越小。

它所依据的衍射理论是人们非常了解的，光学中的衍射理论更是为人所知。早在1903年，布隆代尔就依据这一理论研制出一种用于无线电报的装置[12]。

在发明上述天线的那几年，还研制出许多种其他类型的天线，天线的元件也有许多重大的改进。由于在1895—1920年间积累了许多研制天线的经验，对天线的理论研究明显地在更大范围内开展起来。电子计算机的应用，使天线的理论研究几乎深入最小的元件中。不过，以上讨论的原理仍然为天线的工作效力提供了理论上的依据。20世纪40年代，天线的工作效力已经扩展到1米到3厘米之间的波长范围。在这类天线中，波长较短的天线的供电线路是波导管，不像波长较长的天线那样使用导线和同轴电缆供电。天线的反射器和喇叭形辐射器都是用金属片制造的，不再使用导线结构。

在广播收音机和移动通信的无线电中，使用了一种专用的小型天线，一般都不是定向的。不过，在甚高频、超高频的声音和电视广播（波长在0.1米至10米的波段内）的接收中，通常也还使用一种小型的定向天线阵。

电话交换机，自动转接，长途电话拨号[13, 14] 我们在前面提到，自动电话交换机诞生在美国，首先投入使用的自动电话交换机可能就是1897年由斯特罗夫格发明的装置。依靠这种装置，一台具有1万条电话线路负载量的电话交换机，1900年在马萨诸塞州的新贝德福德投入使用。当时，用户在通话时仍然要使用自给的电池，不过几年内就发展为共电制了。1896年，采用了电话用户拨号盘，通过它产生脉冲的方式来控制电话交换机的活动。每一脉冲序列对应于所拨电话号码的每个数字，它们开动电话交换机的一个选线器开关。例如，如果电话用户在拨号盘上拨的号码为763，则会使与用户电话相连接的电话交换机上的选线器首先移动到第7组接点，然后引起另一个选线器移动到第6组接点，最后一个选线器

1245

则会移动到第3号组接点，这样就接通了用户所要接通的电话。这就叫作步进制。

使用这种早期的斯特罗夫格电话交换机，必须在每一个电话用户的线路上装配一个昂贵的选线器，在经济上花费较大。但是，后来采用的寻线机廉价得多。这种寻线机上有一个接触臂，可以旋转和搜索接点排，在接点排上的每一组接点，都各有通向用户线路的终端，接触臂可以在接点排上寻找到对应于呼叫用户的一组接点。由于寻线机只需提供使话务密度得以保证所需数量的选线器，电话话务分布的概念随之出现。在上面论述人工电话交换机时，涉及一种完全凭经验来确定电话话务分布的方法。后来，逐步使用相当精密的数学方法研究这一问题。数理统计和在电话交换机上呼叫发生率的实际调查结合起来，就有可能计算出必须为每个台站提供电话交换机的数量，以便明确规定每个台站的服务等级，这一等级是以一个输入的呼叫对所拨的每一个数字寻找一个空着的选线器的概率来定义的。这种方法比较灵活，大大降低了自动电话交换机的费用。尽管数学方法不断发展，电话交换机却直到1950年前后才基本达到完善化的程度。

电话交换是采用手工还是自动交换，主要是从经济角度来考虑的。在每个用户每天使用电话的平均数比较高的地方，采用自动电话交换机可能比较划算。然而，自从早期的电话装置出现以来，在某种意义上也可以说即使在我们这个时代，也需要用手工交换台的方式，按指定路线发送呼叫信号给别的电话交换机。在一个电话局范围内可以自动处理的电话交换所占的比例，这是使用哪种交换方式的另一个判据。上述考虑可以说明，为什么自动电话交换机在美国的发展比较迅速，在英国和欧洲大陆的发展则比较缓慢。在1900年之前，英国已经有了自动电话交换机的试验装置，但直到1912年才在埃普瑟姆和伦敦的邮政局总部首先投入使用。在别的地方，也

1246

有自动电话交换机的其他装置在研制和使用。在英国，斯特罗夫格的装置则实现了标准化。

随着自动电话交换机数量的增加，出现了如何解决在大范围内共同使用交换机的问题。解决这一问题的办法，通常是在一个区域内建立一个大型电话总局及其下属的若干分支电话局。在一个电话总局范围内，全体用户都使用同一的编码制，形成一个大电话网。本地的主叫用户可以按照规定的线路，直接向属于同一分支电话局范围内的其他用户呼叫，向别的分支电话局的用户呼叫则要通过电话总局转接。电话总局设置有人工交换机，转接通向整个区域内下属每个分支电话局的电话。在庞大而人口稠密的地区，例如纽约、伦敦和伯明翰等大城市，需要建立更复杂的电话网，形成由许多电话局连接起来的复杂网络结构。这种电话网使用了一种被称为“导向器”的装置，全体用户的电话号码都有 7 位数字，开头的 3 位数字通常是用来代表市内各个电话局名称的字母。当用户拨电话号码时，脉冲便储存在与之相连接的电话局，“导向器”便依据电话号码中开头的 3 位数字指示出所要接通的电话局，然后这 3 位数字被自动转变为直至 6 位的定向号码。这组新脉冲带动着选线器，后者直接或通过中间的电话局连接到被呼叫的电话交换机上。在这种电话号码中，后 4 位数字（在所属的本地电话局中被称为用户的号码）被常规地传送到选线器中。1927 年，英国首先在伦敦的霍尔本使用有导向器的电话交换机。

在所有自动电话交换区域，很长时间不得不使用一部分人工电话交换机（起初使用人工电话交换机常常是比较多的）。这是因为在投资费用得到回报之前更换掉新型号的人工交换机，在经济上是不合算的。可以这样解决上述问题：在较小的电话区，自动电话交换机的用户为了与人工交换机连接，必须呼叫话务员；在有导向器的电话区，自动电话交换机的用户可拨该区内的任何电话号码。在这种情况下，

如果被呼叫的电话交换机是人工操作的，电话号码前3位数字就变为呼叫被叫电话交换机的话务员，后面的数字则以可视数字显示，从而使话务员在不与主叫用户和被叫用户有任何口头联系的情况下，就可以接通电话。

在长途电话线路上，从一个地区直接拨号到另一个地区的自动电话交换装置在1950年左右才开始出现，并且必须以在长途电话线路上的交流（a. c.）通信的发展时期为先导。过去的长途电话线路都在每个话音信道上使用了一个导线对，为直流（d. c.）信号传输提供了一个单独的传导线路。但是，较新的长途电话线路依靠频分多路传输（或载波）原理工作，不再为每个信道的线路提供直流电流。当有可能实现十分复杂的交流通信时，就有可能通过发送交流音调脉冲系列的方式，实现长途电话线路上的拨号。起初，只有话务员才能用拨号盘呼叫。但到后来，一种几乎是国际上通用的长途电话用户拨号装置研制成功并投入使用。1958年，在英国的布里斯托尔开始使用这种装置。

1247

电子自动电话交换机是电子计算机（第48章）原理发展的自然应用。从1950年起，对它在理论和实际设计方面进行过许多研究。但是，研制工作碰到了不少非常特殊而且困难的问题，基本上都未得到解决，也许不能把用于常规电话交换机的方法用在这里。后来，采用了新的机电式接线方法，才研制出令人较满意的半电子电话交换机。全电子电话交换机经济上的优点并不明显，不过这种开发在1950年以前几乎没有开始。

理论上和数学方法上的发展　到1950年，电信技术已发展到相当复杂的程度。很明显，如果没有理论上和数学方法上的坚实基础，它就不可能发展到这一步。的确，有极少的技术分支受数学方法的影响很大，以致只有依靠数学处理才能获得发展。诸如，开尔文在电缆上电报传输的理论（1855年）和基本电路理论（1853年），麦克斯

韦的电磁波理论（1864年），赫兹对麦克斯韦理论的发展，亥维赛的电磁理论（1887年起）——上述只是最突出的研究成果——都在理论上和数学方法上为电信技术的发展奠定了坚实的基础。当时的工程师中几乎没人了解这些理论，因此这些理论的直接影响没有其赋予的重要性那么大。这种状况无疑阻碍了电信技术的初期发展。但到了19世纪末，由于在坚实基础上完善地建立了电工技术教育，才使这些理论受到人们应有的重视。许多理论研究工作就是运用已确立的科学理论和数学方法来解决具体的工程技术问题。但是，一直有新理论和新数学的关键方法出现，它们是为解决电信技术问题而研发的。用于解决电路问题的亥维赛“运算微积分”就是一个例证。更近的例子则有由香农（C. E. Shannon）[15]提出的一般通信理论（1948年起）。香农的理论是在对约翰逊（J. B. Johnson）[16]于1928年首先提出的关于电气装置中背景“噪声”基本原理理解的基础上提出的。同时，香农的理论也是建立在由奈奎斯特（H. Nyquist）[17]和哈特利（R. V. L. Hartley）[18]首先测定的频带宽度极限基础上的。

1248

约翰逊曾指出，由于导体中电子的无规则运动，所有的电气装置中都有一种由导体中任意点的电势随机变化所形成的基底噪声。他还指出，平均功率均匀地分布在电路通过的频谱上，与导体的绝对温度成正比，与带宽（即电路通过的频谱宽度）也有正比关系。然而，好的通信系统应当是不受外界干扰的，例如不受来自别的线路的串音干扰，它的背景噪声电平绝不可能降低到低于它的基底噪声电平。通信理论正式提出了信噪比的概念，并以此作为通信装置性能的一个判据，同时还阐明了与性能相联系的在某个信噪比下可能传输的信息问题。这包含着信息测量的基础。在信息测量中，无论怎样复杂的信息都必须从根本上分解为一系列二进制或肯定—否定判断，每一个基本的判断都是信息的一个二进制单位或一个“比特”，一个复杂的语句可能

包含几千个比特的信息量。测量信息的方法在某些方面与电报传输的方法有相似之处，例如和用莫尔斯电码进行电报传输就很相似。通过通信装置，以一定的检错率传输含有“肯定判断”或“否定判断”信息的比特，传输率恰好与带宽和信噪比有关。自1950年以来，信息论及其分支产生了深远的影响。在此以前，上述理论已经在起作用，特别是第二次世界大战期间发展起来的各种新通信设备，尤其是用脉冲调制的通信设备以及雷达和声呐装置。

50.5 全球通信

无线电与电缆比较 1907年10月，马可尼公司在克利夫登（爱尔兰）和格莱斯湾（加拿大）之间，最先开办了横渡大西洋的商业性无线电报业。实际上，使用这种无线电报比使用海底电报公司通过海底电缆发的电报要便宜许多。马可尼公司依据这一工作基础，有可能在1910年向英国政府提出建议，提出通过无线电报线路链，把当时幅员十分辽阔的大英帝国的全部领地联系起来。可惜，面对马可尼公司根据通信量和使用波长收费的方案，英国政府有关部门提出控股要求，加上海底电报公司的反对，这一建议再三被拖延。作为一个犹豫的开端，1914年在利菲尔德设立了英国的通信终端站，它受到了第一次世界大战的破坏。英国政府的反对态度，导致战后制订出一个发展英国邮政局无线电通信网的新计划。尽管马可尼公司早已通过试验证明，在英国和澳大利亚之间没有中继站也能直接进行无线电通信，但计划建造的无线电通信网仍然还设有中继站，间隔距离长达4000英里。不过，上述计划又往后推迟了。1922年，为了建造直达英国的无线电通信线路，英帝国的各个自治领地都分别与马可尼公司协商。然而，英国政府还是没能与马可尼公司达成任何协议。

1249

新的突破出现在1924年。直到那时为止，制订的计划仍然是建

造长波（波长超过1千米）系统。但是，马可尼的"短波"（波长大约30米的无线电波）无线电通信试验已经进行了好多年。这种短波无线电通信可以使用定向的天线，使"波束"朝着同样是定向的接收台传输，而且这种短波传输可利用大气上层电离层的反射，达到非常远的距离。这一研究成果具有决定性意义，英国政府立即与马可尼公司订立了建造无线电通信网的合同。建造计划进展顺利，到1928年建成了全球范围的无线电报通信网，把加拿大、南非、印度、澳大利亚和其他的英帝国自治领地与英国联系起来，也把各个英帝国自治领地之间彼此联系起来（图50.10）。

当时，全球范围的海底电缆电报网差不多已经建立了75年（第Ⅴ卷，第10章）。无线电报网的发展使电报费用大大降低，海底电缆电报网受到了严峻挑战。尽管降低了收费，海底电缆电报的业务仍然在减少。后来，英国的长途无线电和海底电缆电报行业，包括马可尼的无线电报公司、东方电报公司、东方扩展电报公司以及西方电报公司，还包括马可尼公司非常辽阔的长波无线电报网，从1928年开始谈判，并在1929年合并成海底电报和无线电报有限公司。这是一家控股公司，它开设的营业公司叫作帝国和国际通信有限公司。英国政府设立了一个官方的顾问委员会，从而实现控制。1934年，海底电报和无线电报有限公司的名称由营业公司使用，控股公司则在海底电报和无线电报有限公司这一名称后面加上（控股）的附注，使它和营业公司区别开来。在第二次世界大战之后，这家公司被收归国有。

1250

电话的优势超过了电报　正如我们所了解的那样，在热阴极电子管广泛使用之前，已经建立起用无线电联络来传输和接收电话。但是，正是电子管的应用，使无线电话发展到适于进行长途通信服务。早在1915年，美国电话和电报公司就成功进行过从美国到法国的话音传输试验。到20世纪20年代初期，可以用水冷却的专用大功率三极电

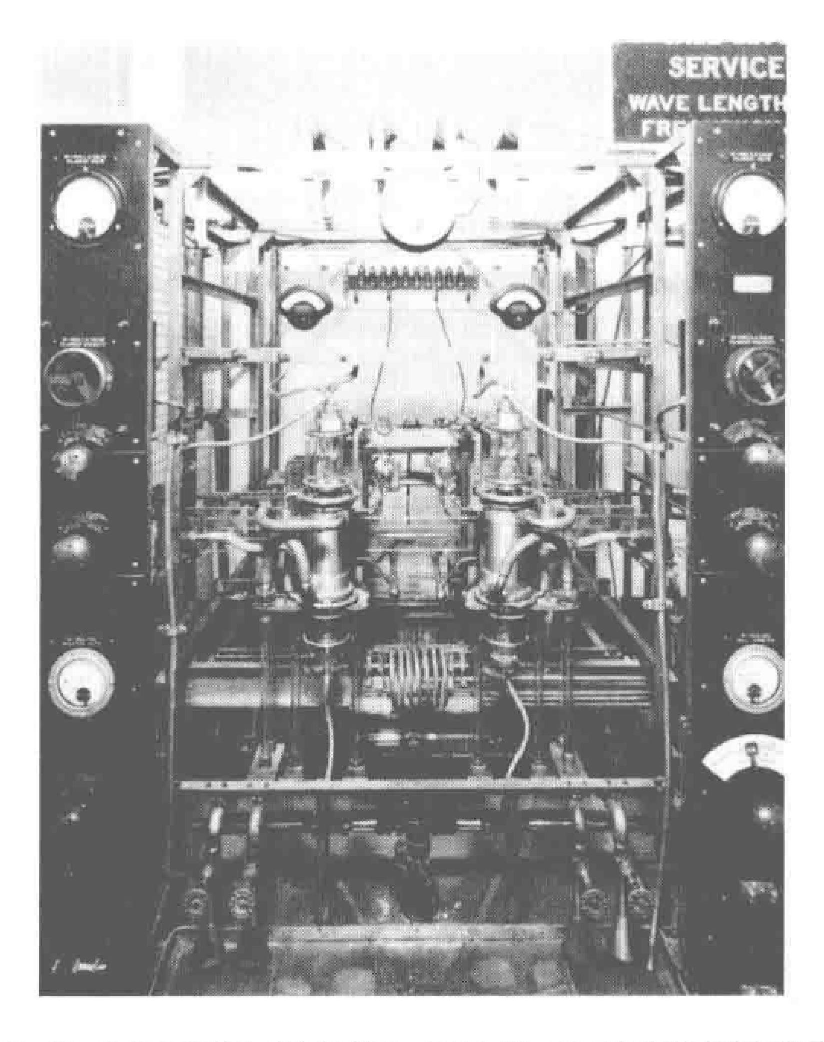


图 50.10 马可尼公司的 20 千瓦短波无线电发射机，SWB_1 型，1927 年安装在多切斯特，图中显示了水冷式电子管。

子管做成 20 个或 30 个连在一起的组件，它在长波（波长范围在 5—10 千米）——频率在 30—60 千赫之间——的发射功率高达 300 千瓦。1923 年初，美国电话和电报公司与美国无线电公司联合，在美国的罗基波因特和英国的新绍斯盖特凭借 60 千赫的载波频率，使用单边带以 60 千瓦的功率传输[19]，建立了试验性的可作长期评估的单向横渡大西洋的无线电话联络。

1251

基于这一试验的结果，英国邮政局决定在英国和美国之间开辟商业性的双向无线电通信联络。利用邮政局的拉格比长波无线电报站，不仅提供前面提过的波束服务，还提供一项传输波长为 40 千米的相当昂贵的全球无线电报服务。用于无线电话的天线很容易增添，标

准电话电报有限公司——美国电话和电报公司英国分公司则提供无线电话设备。1926年，无线电报和无线电话发射机都在拉格比建成[20]，电话联络分别由两条在地理上间隔适当的独立单向联络组成，可以传输50—65千赫频率范围内不同频率的电磁波。这些无线电话设备的使用效果是良好的，尽管由于电磁波传输的起伏和干扰，需要技术人员在通话进行时不断手动调整无线电通信联络。每3分钟的（有效）通话，需要花费15镑。

此后，澳大利亚、南美洲和其他许多地方都提供了类似的无线电话服务。发射短波束的装置成功地用于发射无线电报，也成功地用于发射无线电话。可以说，从20世纪30年代起，如同有了全球范围的无线电报一样，也有了全球范围的无线电话。

同国内通信情况类似，在电报生意减少的同时，电话业务却增加了。很明显，这必定要考虑到洲际电话服务的扩展和改善。20世纪30年代，美国开始出现了内嵌电子放大器的海洋电话电缆的概念，并在第二次世界大战后得到了发展，导致在基韦斯特岛和哈瓦那之间建造起一个特别装置，这是1950年的事情。由此，人们获得了在每个传输方向上使用各自独立的电缆装置的经验，其中每条电缆载有24条通话线路，有3个内置中断器，埋藏在深度1700米处运作。每条电缆的中继器使用灵活的机械设备和简单的电气设备，由电缆提供动力。与此同时，英国也获得了上述经验，从而有了更复杂的海底电缆中继器。这种中继器可以为单一电缆的两个方向工作，可以安放在大陆架的浅海区域与电缆相连，不需要埋置在电缆内。1943年，最初的这种中继器安置在霍利黑德和马恩岛之间的线路上，这条线路共有48条通话电路。此时，制造可靠、使用寿命长的热阴极电子管技术获得了成功开发。在大西洋两岸都取得的这些成功经验，导致了横渡大西洋的电缆电话的设计与建造。1956年，这一装置建成使用，在欧洲与美洲之间提供了35条高质量的电话线路。后来，人们所需

1252

要的电话线路发展到如此之多，以致到20世纪70年代中期可供使用的电缆线路和人造卫星无线电通信联络达到数千条，不仅横渡大西洋，而且遍及世界各地。

毋庸置疑，在全球通信方面，英国在一个多世纪里起了主要作用，美国则后来居上。不过，其他许多国家——特别是德国——一直是发展全球通信的积极参与者。

50.6 在船舶和车辆上的通信

航海无线电通信 马可尼初期的实验中，有几次是在灯塔和灯船上进行的。这就清楚地表明，无线电提供了在各种天气条件下解决海上船舶通信问题的方法。在1900年以前的一段时间里，马可尼和杰克逊的试验都展示了无线电通信在英国皇家海军中的应用价值。到1900年底，安装了51个这样的无线电台。马可尼为了开发自己专利在航海上的应用，在1900年创办了马可尼航海公司。实际情况表明，公司需要自行建造海岸无线电台，出租船用通信设备，并控制海上通信业务。不久，其他许多公司参与了竞争。在英国，还有来自邮政局的竞争。1909年，英国邮政局接管了这家公司在英国的全部海岸无线电台。在世界范围内，无线电台总体上远未达到令人满意的程度。不过，所有的机构最终一致同意，共同处理由他们各自经营的任何电台发出的信息。到1915年3月，海岸无线电台共有706个，船舶无线电台则有4846个。

1912年，在大西洋上航行的“泰坦尼克号”客船的失事，刺激了船上必备无线电的需求，船舶携带无线电逐步成为强制性规定。自1914年起，英国、美国和其他一些国家都分别制定了适用于各种不同类型船舶的相关法规。早期船舶上使用的都是火花式发射机，随着电子管发射机的发展进入实用阶段，军舰和商船上通常采用电子管发射机。1927年，国际上一致同意到1940年停止使用超过

300 瓦的火花式发射机，因为这种发射机不纯的发射会引起相互间的干扰。

其他重要的航海无线电发展是一种用于导航的测向器（第 34 章），它主要是第一次世界大战之后发展起来的。20 世纪 20 年代初，出现了由船到岸的无线电通信。也是在这一年代，出现了自动呼叫的报警装置。虽然在 1950 年之前的 20 年间，单边带工作方式已经很好地在固定的点到点的无线电通信装置中建立起来，但它在船舶无线电通信装置中却没产生多少影响。直到 1950 年以后，船舶无线电装置仍然使用双边带工作方式。

1253

车辆通信和步行通信[21，22] 用于陆地车辆的无线电通信发展很慢，大大落后于航海无线电通信。虽然有人曾经用感应法进行过火车通信的早期试验，但这不可能广泛应用。在车辆上使用无线电通信是唯一可行的通信方式，只是存在不少问题。例如，需要使用非常小的天线和结构十分紧凑的设备，还要在不利于传输的条件下进行有效服务等。因此，直到 20 世纪 30 年代，车辆无线电通信仍然在不断发展。

初期使用频率大约为 2 兆赫的装置，主要采用莫尔斯电码。20 世纪 30 年代后期，英国警察部门使用装置的频率范围在 30—100 千赫之间，固定电台采用 100 瓦的功率，移动电台则采用 10 瓦的功率。用这种装置进行无线电话通信，通常可以收到良好的效果，通话距离达到 25 千米左右。当时，世界各地使用的移动无线电话的频率都在这一范围之内。1950 年以后，研制出许多供官方和私人使用的移动无线电话装置，极其小巧而方便，使用频率大约为 400 兆赫。

无论过去还是现在，车辆无线电通信面临的主要问题都是信号衰落。这是因为在信号传播到行驶的车辆中去或从行驶的车辆中传播出来时，会在不同的路径受到建筑物和其他固定物体或移动物体的反

射，从而产生同相信号和异相信号。这种信号衰落的情况，在不同的条件下有所不同，例如使用不同的频率，或者车辆上的不同的位置。为此，人们常常采用“分集接收差异化”的方法，把不同发射频率的输出信号或几个天线的输出信号混合起来，以此减少严重的信号衰落。

20世纪30年代，用于步行的无线电通信装置也开始出现。步行通信装置的发展和车辆通信装置的发展路径相同，但是对结构紧凑和使用方便有更高的要求。

地面与飞机之间的无线电通信的初期发展，沿着和航海无线电通信相同的发展路径进行，使用的频率为中频(300—3000千赫)。第二次世界大战导致了在地面移动的无线电通信中使用特高频(30—300兆赫)，从而在视距路径上可以进行有效通信。

50.7 无线电广播

无线电广播的起源 现代意义的无线电广播是指无线电音响节目和消息的广播发射，同时能使任何人通过适当的收音机接收。第一次世界大战前，好几个国家都进行了这类试验，开创了无线电广播的先例。1914—1920年，比利时、荷兰和德国已经有了几档本地广播节目。作为一种正式为公众服务的无线电广播，应当说从20世纪20年代起才出现。1920年2月23日到同年11月23日从邮政部长那里领回营业执照，马可尼公司采用功率为15千瓦的发射机，在英格兰的切姆斯福德发布了正式的新闻广播，波长为2.8千米。1920年4月起，威斯丁豪斯公司的康拉德(Frank Conrad)从美国匹兹堡自己的家中，私人广播了文娱节目。同年11月2日，这家公司在匹兹堡市开办了正式的广播电台。两年后，美国的广播电台大约有600个，广播听众估计达上百万。在英国1922年初，马可尼公司进一步从事广播的实验研究，当年5月11日在伦敦创办了著名的具有两个本机振荡

器的广播电台，发射波长为360米的无线电波。当年年底，英国广播公司（BBC）成立，标志着英国在广播事业中商业竞争的结束。1927年，这家公司变成国有企业，此时英国的收音机总数超过了200万台。在美国，虽然有联邦政府的监管，广播事业仍然是商业性的。在世界各地，通常每个国家都建立起在一定程度上由政府部门控制或监管的广播事业。

用于收听无线电广播的收音机销售，几乎在各个国家都存在着商业上的竞争，从而导致许多人申请收音机的发明专利。同时，收音机的设计优良、价格低廉和大量生产，更受到人们的重视。总有一些热心的无线电爱好者致力于收音机的制作，这种情况在收音机发展的初期表现得特别明显。那时的收音机非常简单，没有热阴极电子管，只有“触须”（晶体）检波器，通常要佩戴耳机收听。在图50.11中，显示出这种类型收音机的典型电路。这种装置增加一只电子管，可以带动扬声器。扬声器中装有圆锥形的金属振动膜，通过来自收音机的音频电流变化，引起电流经过的线圈中的磁性簧片振动，从而使扬声器中的振动膜振动。1920年，这种类型的收音机研制成功，喇叭形的扬声器随之迅速发展。从音频特性和非线性失真等方面来看，播音室话筒、耳机和扬声器的性能最初都相当差。经过不断的研究和试验，后来研制出电容器话筒和移动线圈的扩音器，并最终成为高保真收音机发烧友所要求的那种质量极好的产品。

广播的发展 最初建立的无线电广播发射机是中波波段的，发射300—500米波长的无线电波，发射功率大约为3千瓦。当传播距离超过40千米时，通信质量就难以保证。因此，英国建立起“中继广播电台”，由它接收来自总台的广播节目，然后向总台有效作用范围之外的一些限定局部地区转播。包括美国在内的许多国家，完全采用中波波段的无线电广播。不过，一些欧洲国家则建立了长波无线电广播发射机，它具有较大的功率，传播距离完全可以达到全国各地。

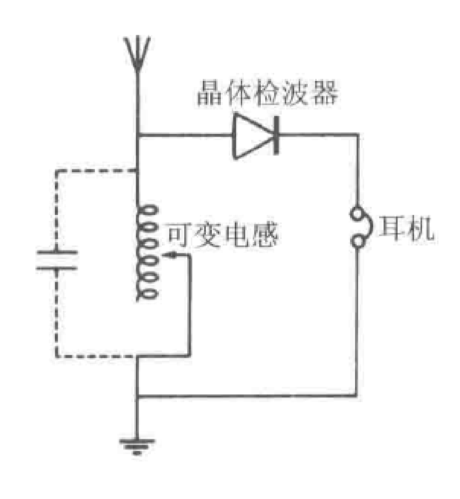


图 50.11 大约 1923 年的一种简单“无线电机”的典型电路。在这种装置中，通常不必增加实际使用的电容器，如图所示。如果设计合理，电感线圈的固有电容足够引起谐振。

1925 年，英国最早的长波无线电台在达文特里（Daventry）开办，其发射无线电波的波长大约为 1.5 千米，发射功率为 25 千瓦。

在英国，由于使用了中继广播电台并经常要求所有的广播电台广播相同的节目，促进了广播节目从一个中心地区传送到另一个中心地区的线路网发展。开始时，为了保证达到较好的技术质量，这种线路网只能使用明线电话线路，加载电缆的频率响应显得极为有限。使用专用放大器后，才发展形成了这种全国性的线路网。由于在电话线路中更广泛地使用了具有放大器的电缆，为传送广播节目而在电话电缆中装置专门的电路就变成了常态。通常认为，这种广播节目的专门电路大约是 1927 年在丹麦和其他一些欧洲国家建成的，英国则是在 1931 年才建立起来。当时，一条伦敦至伯明翰的新电缆的中心站，有 4 对这样的广播节目专门电路，分别进行屏蔽以防止干扰。这些线路的负载非常轻（在每隔大约 3000 米的长度上负载 15 毫亨的线圈），有很好的频率响应，几乎达到 8 千赫。此后几年，甚至使用了各种效果更好的方法。

无线电广播的重大发展是 20 世纪 20 年代中期采用的短波传输（波长范围在 10—100 米）。如果需要的话，这种短波传输可以是定向的。传输功率相当适度，多半为 10 千瓦。依靠大气层里电离层的反射，传输距离可以达到几千公里。

第二次世界大战后，波长只有 1—10 米、比短波更短（即通常说的甚高频，其频率范围在 30—300 兆赫之间）的无线电广播才开始发展起来。它的目的不是要把广播传输到很远的地方，而是要提供接收

质量较好的传输覆盖区。由于使用了调频(F.M.)，这一目的基本得以实现。在这一过程中，音频信号由辐射信号的频率变化来传送，而不是由辐射信号的振幅来传送。这种传送方式不易受到传播情况变化的影响，也较少受到其他干扰的影响。但是，由于传送信号的过程需要宽得多的频带，因而在较长的波长——较低频率的传输中，它不是一种合适的调制方式。

播音室的设计和广播节目的技术控制，是广播技术中的一个重要问题。对于各种不同类型的广播节目，播音室应当具有恰如其分的音响效果，同时还要处理好来自话筒系列的信号调整和混合。这些都是非常专业的问题，已经成为许多研究和试验的内容。

收音机的发展 1920年之后的数十年间，无线电收音机的外观发生了相当大的变化，在一般原理上却几乎没有什么重大的改变。在此期间，收音机最重大的发展也许表现在两个方面，一是采用了超外差接收装置，使收音机的选择性得到了极大提高，二是使用了自动音量控制。

超外差式收音机的原理，我们已经在本章(边码1238)叙述过。在20世纪30年代初，无线电广播收音机就开始使用超外差式了。中频(I.F.)通常设定为465千赫，固定并准确地调到这个频率上，可以获得很好的选择性。例如，收音机收听的信号频率为1000千赫，本机振荡器被调到1465千赫频率，镜像频率则为1930千赫。也就是说，这种镜像频率仍然和所需要的信号频率相同，不超过通常无线电信号的频带，也能进入中频级。因此，这种收音机在变频器前面的放大器中，通常有一些要求不很精确的可变调谐，从而可以使单按钮调谐很方便地“同轴”控制振荡器频率。当然，超外差式收音机要比较早制作的“高放式”收音机复杂得多。超外差式收音机使用的电子管比较多，典型的是6个或7个电子管，虽然在英国和另一些国家经常把几个电子管联结在一个共用灯丝的玻壳结构内。

1257

早在20世纪30年代初期，自动音量控制装置便进入使用阶段。这种装置是依据直流电压与中频级输出的载波信号振幅成正比的关系，来控制放大电子管的增益。收音机的输入信号由于衰落等原因产生波动时，这种装置可以使输出信号的变化大大减少。它的工作依靠20世纪20年代后期研制成的“变μ管”，这种热阴极电子管的栅极是用间隔不均匀的金属网线制作的，使电子管的负栅特性曲线沿着负电压轴的方向大大延长。用这种方法，当栅偏压负数更大时，电子管的放大倍数逐渐减少。把上述直流控制负电压供给收音机的几个电子管的栅极，总放大倍数便会减小，这种减小比输出的增加要大许多倍。这样，如果收音机输入信号的振幅波动了100倍，所引起的声音输出的波动或许只有2倍或3倍。超外差式收音机和自动音量控制的方法一直使用到20世纪70年代，只不过后来用晶体管取代了其中的热阴极电子管。

50.8 电视[23]

电视的起源 用某种电报的方法将图像迅速传送到远距离处的愿望，差不多在电报刚开始出现时就有所表露。早在1850年，贝克韦尔(F. C. Bakewell，英国人)就建造了一种可以传送手写电文的装置(因此推测也可以传送线条图)，用不导电的油墨把文字写在金属板上，然后用各自连接在电路上的描画针系列扫描并传送。在接收端，每个描画针电路的电流(直接的电流或通过继电器和本地电路的电流)便会使覆盖在旋转圆筒上并经化学处理的备纸上显出记号，原始的电文或图片就这样用白色的线条复制出来。此外，还发展出其他几种传送图像的方法。早在1863年，法国就出现了公开的图像传送业。

不过，这类方法只能传送线条图，传送有明暗的图片则需要某种利用光强的电响应装置。1873年，史密斯(Willoughby Smith，英

国人）发现了硒的光敏特性，它受到光照射时会增加电导率。看上去，人们所需要的装置唾手可得，许多人提出了图像传输的方案，其中最著名的有塞拉（M. Senlacq，法国人）在1878年、艾尔顿和佩里（W. E. Ayrton and J. Perry，英国人）在1880年、凯里（G. Carey，美国人）在1880年，以及比德韦尔（Shelford Bidwell，英国人）在1881年提出的方案。在这些方案中，图像投射在硒光电管的感光镶嵌屏上，每个硒光电管都用单独的导线与接收机（可以是电化学型的）相连接。另外还有一些设计方案，使用单独一个硒光电管进行图像扫描，在一条电报线路上传输同每次扫描相对应的信号系列，接收机则可能与发射机同步。在1884年的设计方案中，尼普科（P. Nipkow）使用了一种在很长一段时间内都很重要的扫描方法，即使用了一种在其上有许多小孔组成的螺旋形系列的大转盘（图50.12）。在这一时期前后，还提出了用镜面鼓扫描的方法。

1258

这几年里，硒在图像传输适性方面的基本缺陷变得明显起来。由于它对光强变化的反应过于缓慢，所以用硒传输动画在任何情况下都不可能。虽然如此，对于在电报和电话线路上缓慢地传输静态图像而言，硒还是一种适用的材料。1930—1940年间，硒才真正在此类用途中得到广泛应用。但是，电视显然不需要硒。几十年后，大约直到1907—1911年使用了阴极射线管之后，电视的发展才成为可能。

阴极射线管是1897年发明的。以阴极射线管为工具，用它在接收端再现图像的设想，则是由罗辛（B. Rosing，俄国人）在1907年提出来的。不过，他在发射机上仍然使用与某种类型的光电管联系在一起的机械装置进行扫描。有关在发射机和接收机上都成功采用阴极射线管的电视装置的特点，斯温顿（A. A. Campbell Swinton，英国人）在1908年作了如下详细说明：

……两个阴极射线束（一个在发射台，另一个在接收台）通过由

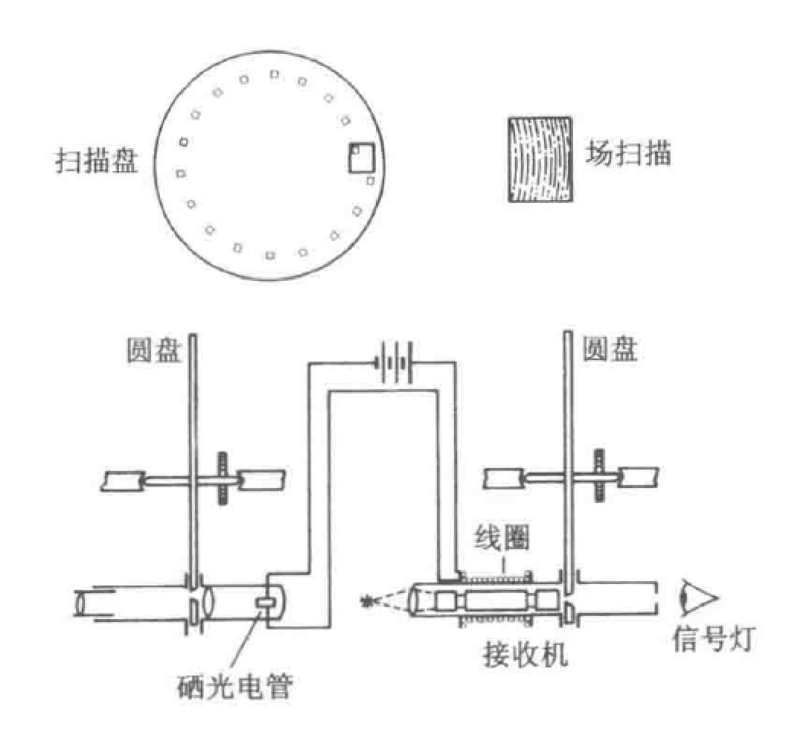


图 50.12 尼普科的专利品，1884 年。此图是根据已发表的原始专利说明书上的图复制的。图中表明，有一个上面有许多小孔按螺旋线排列的扫描盘，发射机的光敏元件采用硒光电管，而接收机则利用偏振面在磁场中旋转来实现光控制。

1259 两个彼此成直角的电磁场的变化，使之同步偏转。磁场由两个频率相差很大的交流电提供能量，从而导致两个射线束的运动末端在整个图像表面上进行同步扫描。为了利用视觉暂留，扫描时间必须达到 1/10 秒之内……

真正的困难在于，需要研制出一种效率很高的发射机。这种发射机在光照或阴影的影响下，能充分地变更发射电流……此外，这种发射机的反应动作应当非常快，最低限度必须能对每秒 16 万次的变化作出反应。

斯温顿提出上述设计方案 3 年后，在发射机上使用了一种专用的阴极射线管。它带有一个光电元件的感光镶嵌屏幕阴极，在屏幕上投射要传送的图像，随之产生的存储在光电元件上的电荷，则由阴极射线束扫描并调制在阴极射线束的电流中。显然，这已经相当准确地描

述了现代电视装置的基本原理。不过，正如斯温顿所仔细解释的那样，这些在 1911 年的技术条件下不可能实现。

正是在 20 世纪初这一时期里，光电（与光电导不同）元件研制成功。这种元件在光的影响下不会改变电导率，却可以产生电压或电流，作用速度已经被证明要快得多。因此，这样的元件允许快速扫描。

实用的电视装置：低清晰度的电视 20 世纪 20 年代中期，许多研究人员都以很大的决心从事电视研制，特别是冯米哈利（D. von Mihály，匈牙利人）、詹金斯（C. F. Jenkins，美国人）、艾夫斯（H. Ives，美国人，贝尔电话实验室）和贝尔德（J. L. Baird，英国人）等。在这些人中，贝尔德在 1923 年开始的研制工作引起极大关注。1925 年起，他不断公开演示他的电视装置。他使用了一种在孔中装有透镜的尼普科扫描盘，扫描的地方必须照得非常明亮，图像具有 30 条扫描线，每秒扫描 5 个画面。在接收机上，他使用了另一个与发射机同步驱动的尼普科盘，在观察者的眼睛与氖管之间旋转，氖管的亮度是按照与发射机的光电管电流成比例的关系调制的。当然，此时已是电子时代，贝尔德使用了必需的载波和电子管放大器。虽然在贝尔德的电视装置中，图像很小（大约长 5 厘米，宽 4 厘米）、不清晰和严重摇晃不定，但已经完全可能辨识出图像的外形了。

后来，电视装置逐步得到改进，包括使用了飞点扫描装置。在这种扫描装置中，旋转的镜面鼓产生强光点来照亮场景，并用 30 条垂直线扫描场景。1929 年，经英国广播公司批准，贝尔德的公司开始进行公共电视广播，仍然使用 30 条扫描线，每秒扫描 12.5 个画面。1932 年，英国广播公司自己接管了广播电视业务。从 1930 年起，市场上开始销售合适的电视接收机，售后服务一直延续到 1935 年。

1260

贝尔德在电视方面的研究成果超过了任何人。他的研究成果表明，电视是有前途的，值得为之努力，但这种前途并不取决于他的装置。

为了使电视达到较好的效果，必须有高得多的清晰度，完全利用机械扫描不可能达到令人满意的效果。在现代技术条件下，斯温顿提出的设计方案是可以实现的。在这方面，已经取得了发展。

实用的电视装置：高清晰度的时代 大约从1931年起，高清晰度电视的发展得益于许多重大的技术进步。反过来也可以说，为了研制出效果良好的电视，激励了许多重大技术的发展。有一些技术的发展只不过是插曲，还有一些技术的发展则直接导致了1950年以后电视的实际应用。对电视发展影响较大的技术进步，主要有以下4个方面：

（ⅰ）阴极射线管的改进。较老的“气体聚焦管”超过一定的亮度范围便不能保持聚焦，因而被静电聚焦的高真空管所取代。

（ⅱ）“时基”电子电路的发展。这种电子电路产生的输出电压初始值，每一周期从一个值到另一个值先是线性变化，然后急速地返回到初始值，即“回扫”。在新的阴极射线管使用这种电子电路提供所要求的电压波形，就可使射线在阴极射线管表面扫描，一个是时间基线的水平扫描，另一个是垂直扫描。通过每一个周期的起点发送同步脉冲，使接收机的时基与发射机的时基同步。

（ⅲ）发射式阴极射线管（如斯温顿在1911年所做的详细说明）的发展。这种阴极射线管由兹沃里金（V. K. Zworykin，美国人）研制，他从1925年起进行研究，在1933年首次公布研制成果。这种被称为“光电摄像管”（iconoscope）的阴极射线管，随后进一步发展为灵敏度高得多的“移像正析摄像管”（image orthicon），有一个光电元件嵌镶幕，这些元件存储由入射光产生的电荷直到阴极射线束扫描为止。

（ⅳ）另一种“光电摄像管”（emitron）的发展。这种光电摄像管是在几年之后由麦吉（J. D. McGee）和英国电器与乐器工业公司的其他人一起研制的，与上述光电摄像管有着相同的功能，灵敏度则更高一

些。在相同的条件下使用，这两种类型光电摄像管的灵敏度都比照相胶卷更高。

有了这些技术的发展，电视的图像清晰度迅速改进。到1935年，英国电器与乐器工业公司为英国广播公司提供的电视装置中，每帧画面有405条扫描线，每秒扫描50帧，各帧交替进行隔行扫描。这是英国采用的电视规格。然而，第二次世界大战期间，大多数国家都中断了公共电视业。美国和欧洲其他国家的电视发展状况，也和英国的状况相类似。直到1950年以后，仍然没有统一规格的、国际通用的电视设备供应。

1261

一些较早提到过的有趣插曲，在这里值得进一步论及。

（ⅰ）速度调制的应用。在通过改变（或“调制”）阴极射线束强度去改变接收机屏幕上的光强的阴极射线管研制成功之前，英国科索公司的贝德福德和帕克尔（O. S. Puckle）曾提出通过改变阴极射线束的扫描速度，来获得接收机屏幕上照度变化。当然，要做到这一点，还必须在发射管上采用相同的速度变化。

（ⅱ）电视速用胶片的应用。当贝尔德公司抛弃了最初的机械扫描装置，发展出一种适用于35毫米胶片的飞点扫描器时，他们便采用240条扫描线规格进行扫描。在有必要播送电视实况节目时，首先拍成电影胶片，大约用60秒钟的时间冲洗电影胶片，然后立即为电视传输进行扫描。

（ⅲ）大屏幕电视。英国的斯科福尼（Scophony）公司认为，需要有一种大屏幕的视域，特别是在电影院中。后来，他们终于研制出一种技术上成功的大屏幕电视装置。到1938年，他们已经能够利用大屏幕电视装置，提供4.5米 ×4米的电视图像，并具有英国广播公司标准的405条扫描线的清晰度。然而，这种需求并没有持续多久。

电视图像清晰度新标准的影响之一是要求用宽频带传输。非常迅

速地扫描图像，必然引起电压同样非常迅速的变化，这就要求频带范围达到4兆赫。这样的频带范围，显然完全不可能在频带范围约1兆赫的中波载波器上进行调制。为此，必须使用频带范围约40兆赫（波长大约7米）的射频频带，即通常所说的甚高频的频带。1950年以后，比甚高频高得多的超高频频带也投入了使用。

公共电视业 电视的需求不言而喻，它在世界范围内供应量的惊人增长也无须赘述。彩色电视的推出以及在电视设备和节目制作上具备的高超技术，当属巨大的成就。但是，电视的价值并不体现在这些问题上，而是体现在它对社会产生的影响。它和核技术一起站在人类最重大技术发展的前沿，对提高人们的教育、娱乐、精神生活和物质生活水平具有积极的促进作用。另一方面，电视也和核技术一样，可以对人类产生巨大的消极影响，表现在损害人们的心灵和志气。正如对核武器的使用需要认真对待那样，对电视的使用也需要人们认真对待。遗憾的是，它的危险性显得更隐蔽，更难以捉摸。

50.9 声音录制和重放

声音录放的起源 毋庸置疑，半个多世纪以来，声音录放已经成为电信的组成部分之一。可是，20世纪上半叶的情况却正好相反，这一领域的技术实际上与电毫无联系。

由于任何录音的重放都会成为任何一种实用装置的重要特征，这样的技术可以说从1877年就开始了，虽然斯科特（L. Scott）曾经提出，通过线条的横向波动，把声波记录在涂有油烟的固态介质上，并在1856年描述了他设计的“声波记振仪”。1877年，克罗（C. Cros，法国人）所描述的装置则是采用斯科特的方法，把声波记录在有螺纹的转盘上。这种转盘通过光蚀刻复制一种钢制转盘，再通过与振动膜相连接的唱针，使转盘上的录音重放出来。同年，爱迪生又研制成一种

"留声机"(phonograph)(图 50.13)，使用固定在旋转圆筒上的金属箔，通过压印深度变化的"垂直深度式"录音方法，把声波记录在金属箔上，录音和放音都使用相同的唱针和振动膜。

此后的50年间，纯声学的(或机械的)装置有了一些发展。1887年，伯利纳(E. Berliner，美国人)提出了留声机(gramophone)这个词。不久以后，他采用在螺槽上具有横向波纹的耐用主盘，进行录音唱片的大批量生产。由此开始，这种装置就成了标准的录音装置。

电子时代的唱片录音 20世纪20年代，电子放大器的应用意味着声音功率不再为录制原版录音唱片所必需，可以使用一种高质量的话筒，由它产生非常小的功率，放大器则提供录音的功率。大概从1926年起，这种"电子录音"方法开始使用。与此同时，还有别的声学上的改进，例如录音的频率范围采用的是100—5000赫。紧接着，能够把唱针(stylus或needle)的振动转变成用于放大的电信号的电磁"拾音器"同扬声器一起被使用。这一装置相当重，大约有100克。20世纪30年代后期，使用了一种用压电元件制作的"压电"拾音器，重量约为25克。到1950年，拾音器的有效质量减

1263

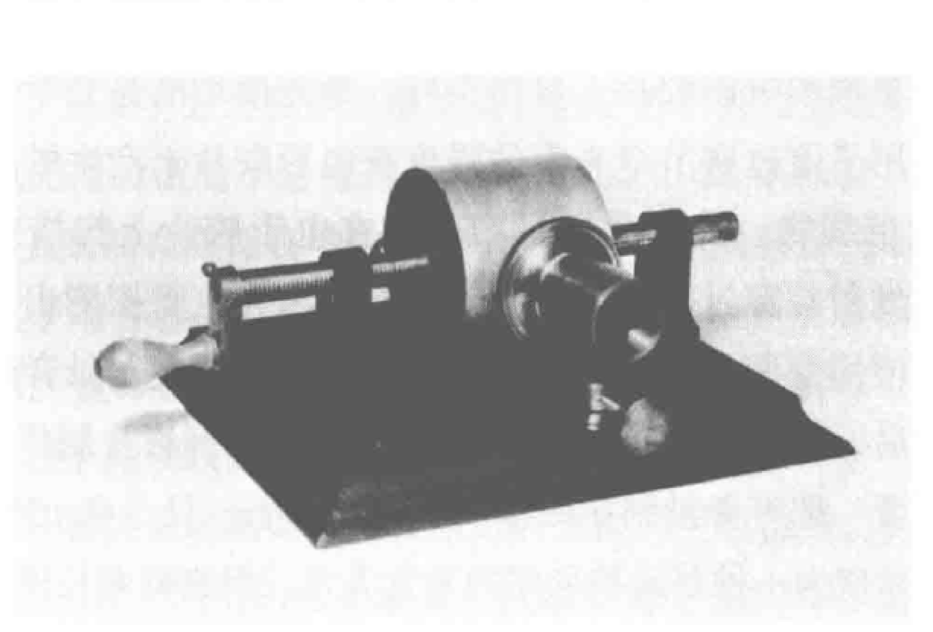


图 50.13 爱迪生发明的留声机，1877年。

少到只有几克。对于在1950年前刚刚采用的那种慢转密纹(LP)的录音方式，这种拾音器有着重要意义。在慢转密纹的录音方式中，用 $33\frac{1}{3}$ 转/分的运转速度取代以前长期用作标准的78转/分的运转速度。录音的运转速度达到了如此慢的水平，不仅使唱片放音可以持续较长时间(20分钟或更长时间)，还可以使唱片放音的质量高得多，唱片的发展由此进入"高保真度"时期。

为了再现立体的音乐效果，特别是为了再现由大型管弦乐队在大型音乐厅演奏的音乐效果，20世纪20年代以来，立体声的录音和放音问题引起人们的重视。这一领域的技术基本上是由布卢姆莱因(A. D. Blumlein，英国人)提出来的，他在1950年以前就研制成使用双声道(来自安放在合适地方的两个话筒)以及使用单一的纹道来进行录音和放音的装置。但直到1950年以后，这一装置才普遍投入使用。

胶片录音 早期的"有声电影"或具有同步声音的电影，是在1927年出现的，当那时使用的声音是唱片录音(第53章)。影片的图像和唱片的放音难于协调一致，促进了在影片图像边缘的狭窄录音带上直接录制声音的技术发展。对制片厂来说，从一开始就把声音录制在单独的电影胶片上显得更好。最先使用的是光学装置，最早的装置用了通过调节窄光束的强度在电影胶片上产生的一种易改变密度的沉积物。放音是通过窄光束在电影胶片上扫描来实现的，窄光束的发射在穿过电影胶片时被调制，由光电管探测出。人们后来发现，使用变面积制录音的方法，比使用变密度制录音的方法更好。再往后，大约在1948年，磁录音才被应用到影片制作上来。

1264

磁录音 把声音录制在磁带或磁性钢丝上，只是在1950年之前的几年间才成为一种普遍被采用的录音方式，但它有着长得多的历史发展进程。在1897—1898年间，波尔森(V. Poulsen，丹麦人)首先实

际采用了这一设想。他的用磁录音的“录音电话机”上，钢丝盘旋地缠绕着一个圆筒，当圆筒旋转时，磁性录读头沿轴向来回移动。要录制的声音通过一个话筒转换为电流，当电流经过磁头上的线圈，它会改变钢丝的磁化强度，从而把声音录制下来。使钢丝去磁，也就把钢丝上的录音消除了。

在 20 世纪 40 年代生产出一种新的磁介质之前，磁录音的发展相当缓慢。这种新的磁介质就是一种涂有精制磁粉的柔性塑料带，可以为磁录音提供良好的动态特性和频率特性，因而获得了迅速发展。从那时起，在文娱活动、研究工作和办公室工作中，使用磁带录音机变得习以为常，技术的发展甚至达到了在录像带上能录下频率高达 4 兆赫的视频图像信号的程度。

话筒 话筒的作用在于将声波转变成具有相应波形的电信号。实现这种转变的两种方法中，一种是使声波直接产生电信号，另一种是通过调制电流或电压，或同时调制电流和电压，使原来的电流和电压的振幅随着声音瞬态振幅的改变而改变。后一种方法是我们在“电话”一节中所描述的效果更好的方法，因而它在电话装置中得到普遍应用。在电话装置中所使用的是碳粒式话筒，声压通过紧密堆积的固体碳粒元件，变更接触电阻和线路电流。这种方法可制作出大功率的话筒，从而有效地提供高放大率，但它的声音嘈杂而不稳定。因此，这种类型的话筒不适宜用于高保真度。1920 年以前，静电式话筒或电容式话筒在高保真度的工作中使用。在这种类型的话筒中，振动膜构成了电容器的一块板，另一块是固体护板，两者相隔多半为 2×10^{-5} 米。这样，在两块板之间施加的静态电压，就可以由在变化的声压作用下振动膜的振动来调制。

还有一种类型的话筒，声波通过时立即产生电信号，具有代表性的是贝尔 1876 年使用的电磁话筒。此后，几乎很少用作话筒，却普遍用作电话听筒，声波也可以通过移动线圈和带式电磁话筒。在 20

世纪30年代，压电话筒开始有特殊的用途。

扬声器 从最通常的意义上说，扬声器是用来把电信号反过来转变成声波的装置，只不过话筒反向使用。碳粒式话筒是不能反过来把电信号转变成声波的，但大多数其他类型的话筒则可以反过来用于扬声器。扬声器是与声辐射器连接在一起的。典型的声辐射器用纸板做成圆锥形，但在无线电广播和电唱机发展初期，通常更多是用金属制作的喇叭。扬声器的音响问题一直存在着许多难以解决的困难，数学理论对解决这些难题起了重大作用。早期扬声器的性能非常不好，但到1950年时，正在大批量生产“高保真度”的扬声器。

50.10 1950年以前就可觉察到的重大发展趋势

第二次世界大战以来，电信的发展很快，未来发展趋势也显示了出来。电信在1950年以后的发展历程，其中的一些情况在本书中还没有叙述过，在这里有必要提一下[24]。

雷达的发展，促进了频率范围超过300兆赫无线电波的开发利用。这一频率范围通常被称为微波波段，波长都在1米以下。利用这一波段的无线电波，对通信有许多好处。就点与点之间的无线电通信而言，天线可以是高度定向、高效率的。因此，无线电波可以沿着视线方向传播。在一定距离内，例如在50千米的范围内，这种无线电波在传播过程中，信号衰落比较小，受到的干扰也比较少，还可以使用中继站，组成长距离的无线电微波接力线路。在射频为6000兆赫时，可使用非常宽的频带宽度，例如可使用100兆赫的频带宽度。到1950年时，为大城市间所需要的无线电微波接力线路，不仅有上千条电话线路，还有电视播送线路。世界范围通信的未来发展，将采用在太空的人造卫星反射或转播微波的通信方式。这种通信方式虽然在1950年后才开始实现，但早在1945年就有人预见到了[25]。

采用比常规电报信号单元短几个数量级的脉冲传输，重要性在不断增长。它预示着利用时分复用多路传输系统和数据传输系统的可能性。到1960年，人们已把时分复用多路传输系统和数据传输系统，看作未来的通信系统了。

1950年以后，电信领域最引人瞩目的变化或许都与用晶体管（第46章）取代热阴极电子管有关。如今，晶体管被人们作为通常称为“有源的”电路和装置的基础。这种发展趋势在1950年几乎一点不令人瞩目，因为那时作为商业化产品的晶体管刚刚才出现两年。

相关文献

[1] Hounshell, D. A. *Technology and Culture*, **16**, 133, 1975.

[2] Heaviside, O. *Electrician*, **18**, 302, 1887.

[3] Tucker, D. G. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, **123**, 561, 1976.

[4] Susskind, C. *I. E. E. E. Spectrum*, **5**, 90, August, 1968 ; **5**, 57, December, 1968 ; **6**, 69, April, 1969 ; **6**, 66, August, 1969.

[5] Ratcliffe, J. A. *Electronics and Power*, **20**, 320, 1974.

[6] Tucker, D. G. *Radio and Electronic Engineer*, **42**, 69, 1972.

[7] Gherardi, B. and Jewett, F. B., *Transactions of the American Institution of Electrical Engineers*, **38**, 1287, 1919.

[8] Tucker, D. G. *Radio and Electronic Engineer*, **41**, 43, 1971.

[9] Tucker, D. G. *Radio and Electronic Engineer*, **40**, 33, 1970.

[10] Black, H. S. *Bell System Technical Journal*, **13**, 1, 1934.

[11] Brittain, J. E. *Technology and Culture*, **11**, 36, 1970.

[12] Blondel, A. *Mémoires du Cóngrès de l'Association française à Angers, 538*, 1903.
——. Compte rendu hebdomadaire des séances de l' Acadamie des sciences, Paris, **147**, 673, 1908.

[13] Scowen, F. *Transactions of the Newcomen Society*, **47**, 35, 1977.
Flowers, T. H. *Exchange systems.* Wiley, London, 1976.

[14] Williams, M. B. and Ireland, J. C. *Electronics and Power*, **22**, 173, 1976.

[15] Shannon, C. E. *Bell System Technical Journal*, **27**, 379 and 623, 1948.

[16] Johnson, J. B. *Physical Review*, **32**, 97, 1928.

[17] Nyquist, H. *Bell System Technical Journal*, **3**, 324, 1924.

[18] Hartley, R. V. L. *Bell System Technical Journal*, **7**, 535, 1928.

[19] Nicholls, H. W. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, **61**, 812, 1922–1923.

[20] Oswald, A. A. and Deloraine, E. M. *Electrician*, **96**, 572 and 666, 1926.

[21] Drybrough, D. A. S. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, **122**, 953, 1975.

[22] Brinkley, J. R. *Radio and Electronic Engineer*, **45**, 551, 1975.

[23] Garratt, G. R. M. and Mumford, A. H. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, **99**, Part 3A 25, 1952.

[24] Halsey, R. J. *Engineering*, **184**, 432, 1957.

[25] Clarke, A. C. *Wireless World*, **51**, 305, 1945.

1267

参考书目

Black, H. S. *Modulation theory.* Van Nostrand, New York. 1953.

Fahie, J. J. *A history of wireless telegraphy, 1838–1899.* Blackwood, Edinburgh and London. 1899.

50th anniversary number of *Proceedings of the Institute of Radio Engineers.* 1962.

Heaviside, O. *Electrical papers.* Macmillan, London. 1892.

Hunt, F. V. *Electroacoustiets.* Wiley, New York. 1954.

Jolly, W. P. *Marconi : a biography.* Constable, London. 1972.

Marland, E. A. *Early electrical communication.* Abelard-Schuman, London. 1964.

Moncel, Count du. *The telephone, the microphone and the phonograph.* Kegan Paul, Trench and Co., London. 1884.

Palmer, L. S. *Wireless principles and practice.* Longmans Green, London. 1928.

Pawley, E. L. E. *B. B. C. engineering, 1922–1972.* British Broadcasting Corporation Publications, London. 1972.

Pocock, R. F. and Garratt, G. R. M. *The origins of maritime radio.* H. M. S. O., London. 1972.

Rhodes, F. L. *Beginnings of telephony*. Harper, New York. 1929.

Ruhmer, E. *Wireless telephony*. Crosby Lockwood, London. 1908. [First published in German, 1907.]

Snel, D. A. *Magnetic sound recording*. Philips, Eindhoven. 1958.

Sturmey, S. G. *The economic development of radio*, Duckworth, London. 1958.

Symposium on the trans-atlantic telephone cable, special volume of the *Proceedings of the Institution of Electrial Engineers*, **104**, Part B, Supplement 4, 1957.

Transistors—the first 25 years, 1948–1973. Special volume of *Radio and Electronic Engineer*, 1973.

第51章 印　刷

詹姆斯·莫兰（JAMES MORAN）

1268

到19世纪末，凸版印刷技术已经发展到全盛时期，摄影术作为辅助角色则刚刚开始出现（第V卷，第29章）。所以，20世纪上半叶印刷技术发展的历史，就是19世纪印刷方法进一步发展与照相技术在印刷方法中逐渐应用且两者并存的技术史。由于这一原因，如今把这段时间看作传统的凸版印刷和铅字技术发展的成熟时期。但是，只有少数人能隐约意识到，这一时期正是胶片、电子技术、计算机技术应用于印刷工艺的预备阶段，它们使印刷的面貌在20世纪的最后20年中发生了根本性变化。

到1900年，凸版印刷、凹版印刷和平版印刷这3种主要的印刷工艺，都已经各自建立了更先进的印刷方式，分别是即轮转凸版印刷、照相凹版印刷和金属平版印刷等。但在20世纪的上半叶，凸版印刷技术处于支配地位［参见注释（1）］[1]，这时的凸版印刷是与制作凸印版的照相-机械制版法结合在一起的。不过，照相凹版印刷和照相平版印刷也都在这一时期得到了逐步的发展。虽然在所有的照相制版术中都使用了摄影术，但对原稿几乎仍然完全使用铅字进行排字。直到半个世纪即将结束时，照相排版技术才取得了一点进展。

1　为了便于读者了解印刷业中普遍使用的某些专门术语的含义，特在本章结尾的注释中详细说明。

根据对20世纪前50年的调查，大量用于阅读而不仅仅是查看的印刷品是由铅字凸版印刷而成的。在1900年之后，排字的方法、印刷机的尺寸和速度都发生了显著变化，20世纪20年代和30年代是排字机的时代，同时它也迎来了凸版印刷的复兴。

19世纪末20世纪初，雕版工艺——根据线条负片制作金属凹版的蚀刻法——已经成为通用的制版方法。但是，直到19世纪90年代利维(Levy)在费城研制成网屏，照片转换成所谓的网线凸版[参见注释(2)]才得到令人满意的解决。这种网屏由两块玻璃板做成，表面用机械方法刻出平行线，对它进行蚀刻并填满黑颜料，然后把两块玻璃板呈90°角联结在一起。当把网屏插入照相机内的感光片与原稿照片之间时，效果就是把照片转换成许多网点。在最后的印版上，网点越大，印刷品的颜色就显得越深。1904年，在伦敦创办的《每日镜报》(*Daily Mirror*)是最早不再采用机械制版法的日报。

1269

在平版印刷中，很早就有人提出用金属版代替石版的设想。到1860年，锌版已经开始使用。早在1891年，铝也曾被考虑用作平版印刷的金属版材。1904年，出现了使用铝质印版的印刷机。大约4年之后，使用胶版工艺在纸上进行印刷的设想被提出。偶然的情况下，在新泽西州的纳特利(Nutley)，鲁贝尔(Ira Rubel)重新发现了间接印刷法的优点。在50年间，间接印刷法以白铁皮印刷法为人所知，原先是由巴克利(Robert Barclay)在1875年取得发明专利的，采用有弹性的胶皮印刷表面来取代坚硬、无弹性的印刷表面，先把图像压印或“粘印”到胶皮表面上，再从胶皮表面把图像转印到白铁皮上，然后再印到纸上[参见注释(3)]。由于鲁贝尔的逝世，他的胶印机未能得到继续发展。不过，美国的哈里斯(Harris)公司以及英国的乔治曼公司(George Mann and Co.)，都改为生产胶印轮转平版印刷机了，美国、英国和德国的其他公司也跟着生产。1912年，莱比锡的VOMAG

公司建成第一个卷筒纸轮转胶印机，生产速度达到每小时 7500 印次。这时，除了在美术作品的印刷中仍在使用之外，石印开始走向消亡。

1923 年，平版工艺胶印的一种简化形式在德国创立，柏林推出了第一台“小胶印”机——轮转印刷（Rotaprint）。接着，在英国建立了经销处，这种机器也逐渐得到了改进。这样，小胶印机不仅能与办公室的复印机相匹敌，还能用于大规模的商业印刷。在相互竞争的过程中，美国又研制成一种简易影印机（Multilith）。但是，直到第二次世界大战后，小胶印平版印刷机才开始产生重大影响。那时，这种机器与在专门打字机上打印原稿相结合，开始冲击传统印刷机市场。人们这时才认识到，小胶印机不仅是办公用机器，还可以用作零件和专门印刷，并开始自己动手装配它。

1270

胶印平版印刷的另一项技术进步是研制成连晒机，用于胶印版的多次晒版。1920 年，这种机器首先在纽约得到应用，有力地促进了商标印刷的发展，也有力地促进了与商标相似的面积较小的包装纸印刷的发展。

在这段时间里，大部分平版印刷机都分别配置有各自的印版，小胶印机的普及则促进了预涂感光版的推广。1938 年，威斯巴登的卡勒（Kalle）进行了预涂感光版的早期试验研究。9 年后，他采用了第一个重氮化合物预涂感光版。与此同时，美国也有人在这方面进行试验研究，到 1950 年时，许多公司进入了这一新领域［参见注释（4）］。

51.1　打字机

发明打字机的年代，至少可以一直追溯到 19 世纪初期。但是直到 1873 年，纽约的雷明顿（Remington）工厂生产出斯科尔斯（Scholes）和格利登（Glidden）打字机，大批量生产才开始。此后，遍布世界各地的许多公司（最后大约有 400 家）都致力于打字机的研制。直到 20 世纪的头 10 年，打字机的需求量终于变得十分可观。机器与

机器之间存在着技术差异，以“奎沃蒂（Qwerty）”字键排列为基础、具有4排键盘的“正面击键”打字机，最终占据了打字机销售市场。

打字形成的文稿可以用平版印刷的方法进行复制，不过显然没有用铅字印刷的质量好。尤其是在使用廉价的或磨损了的打印色带进行打字时，会导致印制质量更加低劣。打字的方法还有一些别的缺陷，例如只有一种字体可供使用，单一字距原则使所有的字符，无论宽度如何都占相同大小的一格，还有各行不能对齐。这些缺陷的存在让这种打字方法不受欢迎［参见注释（5）］。

从1881年起，哈蒙德（James Hammond）一直在设想一种打字机，它可以更换铅字，不必依靠击键所产生的压力进行压印，而是有一个均匀压印的装置。哈蒙德去世之后，考克希德（Ralph C. Coxhead）在20世纪30年代对这种打字机进行了一些改进，研制成世界上首台“冷排机”，取名为“可变打字机”（VariTyper）。1933年，采用了可更换铅字的装置。1934年，增添了复写色带，打印效果更好了。1937年，自动齐行使打字机能像传统排字方法那样，使打印页边留出整齐的空白。1947年，最终实现了可按不同的要求调节字的间隔，终于克服了打字机单一字距原则的缺陷。

电动打字机发展的历史可以追溯到1871年。直到1923年，美国的东北器具公司才开始生产电动打字机。长达10年时间里，没有几台电动打字机投入使用。后来，东北器具公司并入美国国际商用机器公司（IBM），后者投资100万美元用来试制一种稳定可靠的电动打字机。1941年，IBM公司还进行了弥补普通打字机某些缺陷的研究，生产出一种机械装置，用于以不同的度量单位测量每个字母符号。1944年，IBM公司宣称第一台间隔成比例的“操纵型打字机”（Executive typewriter）研制成功。由于第二次世界大战的影响，这种打字机直到1946年才在市场上销售。显然，研制带有“高尔夫球”形的可互换打印头的IBM“选择式”（Selectric）打字机成了发展方向。

但是，这种打字机直到1961年才被制造出来。

51.2 照相凹版印刷

现代照相凹版印刷技术来源于克利克（Karl Klic）早期的研究工作。它要求复制图像和用碳素纸制成网版，再把网版转移到滚筒表面上，并通过网版涂层在滚筒表面进行蚀刻，然后在滚筒的表面薄薄地涂上一层流动的液态油墨，用刮墨刀把多余的油墨刮干净，再进行轮转印刷。1895年，根据克利克的提议，从事花布印刷的兰开斯特市斯托里兄弟公司组建了伦勃朗（Rembrandt）凹版印刷公司，使用卷筒送料的纺织品凹版印刷机进行美术印刷品的生产。

伦勃朗公司尽力在大约10年间保持经营凹版印刷的垄断地位，一直到出现激烈竞争局面之前，实际上差不多保持了近20年。后来，使用纸张的印刷机被研制成功，照相凹版印刷被用来印刷美术复制品、墙纸、邮票和杂志等。1910年复活节出版的《弗莱堡报》（*Freiburger Zeitung*）上有两个特殊的版面，刊载着用照相凹版印刷的图片。这种印刷需要事先做长时间准备工作，才能制成铜质凹印滚筒，一直是用照相凹版印刷时事新闻报纸方面的缺陷。实际上，《弗莱堡报》的印刷是在组合印刷机上进行的，即把凹印机和凸版报纸印刷机连接起来印刷。在英格兰，人们从1913年起采用同样的方法，把凹版印刷机与报纸印刷机连接起来进行《绍森德旗帜报》（*Southend Standard*）的印刷。

同样是在1913年，作为用照相凹版印刷的期刊，《伦敦新闻画报》（*Illustrated London News*）开始图片和文字同步印刷。1914年4月5日，在美国出版的《纽约时报》（*New York Times*）刊载了一个用照相凹版印刷的副刊，后来变成了定期刊登。到1915年，总共有10种杂志和8种报纸采用了照相凹版印刷。在20世纪30年代，英国开始大规模采用照相凹版印刷方法，印刷各种长版（印量很大）杂志。在20

世纪 70 年代之前，照相凹版印刷仍然是使用最广泛的一种印刷方法，没有别的印刷方法能够和它进行激烈竞争。不过，评述这一时期印刷术发展的状况，超出了本章所讨论的范围。

51.3 排字

1900 年，由默根特勒（Ottmar Mergenthaler）发明的正方形底座莱诺（Linotype）活字铸排机（第V卷，边码 686）刚刚开始改用比较轻的“星形底座”机。早在 19 世纪 70 年代，默根特勒就开始在铸铅条机上工作，直到 1885 年才为莱诺铸排机准备了足够多的单独字模。莱诺铸排机的倾斜字模盒中，存储着大量的单字字模，先要通过键盘动作把需要的字模从字模盒中取出，装配成单词，并用间隔嵌条把每个单词分隔开来。接下来，把排好的单词齐行排列在铸模隔板上，铸成与铅字高度一样的“铅字条”或实地（无内容）金属条。此后的 60 年间，莱诺铸排机不断得到改进，直到 1 分钟可以排出和铸造出报纸的 15 行字。其他类型的整行铸排机中，只有英特铸排机（Intertype），可以与莱诺铸排机相媲美。英特铸排机是 1913 年制成的，纽约的《商业日报》(*Journal of Commerce*) 首先安装了这种铸排机。

与此同时，对印刷术有最大影响的另一种机器是莫诺铸排机（Monotype）。这种单字铸排机由一条穿孔带控制，这条穿孔带靠键盘动作来进行穿孔。兰斯顿（Talbot Lanston）在 1887 年就发明了这种机器，但这种新方案在 1890 年之前仍未实施，1894 年才投放市场。莫诺铸排机由键盘（图 51.1）和铸字机（图 51.2）组成，穿孔纸带用以控制装备有字模盒的铸字机，把字模盒移动到与穿孔相一致的位置，将液态的铅合金注入相应的字模中，然后再把铸成的铅字逐个从字模中倒出来，装配在一个槽中，直到排满一行为止。1900 年，最初改进的莫诺铸排机机型由卡塞尔公司（Cassell and

1273

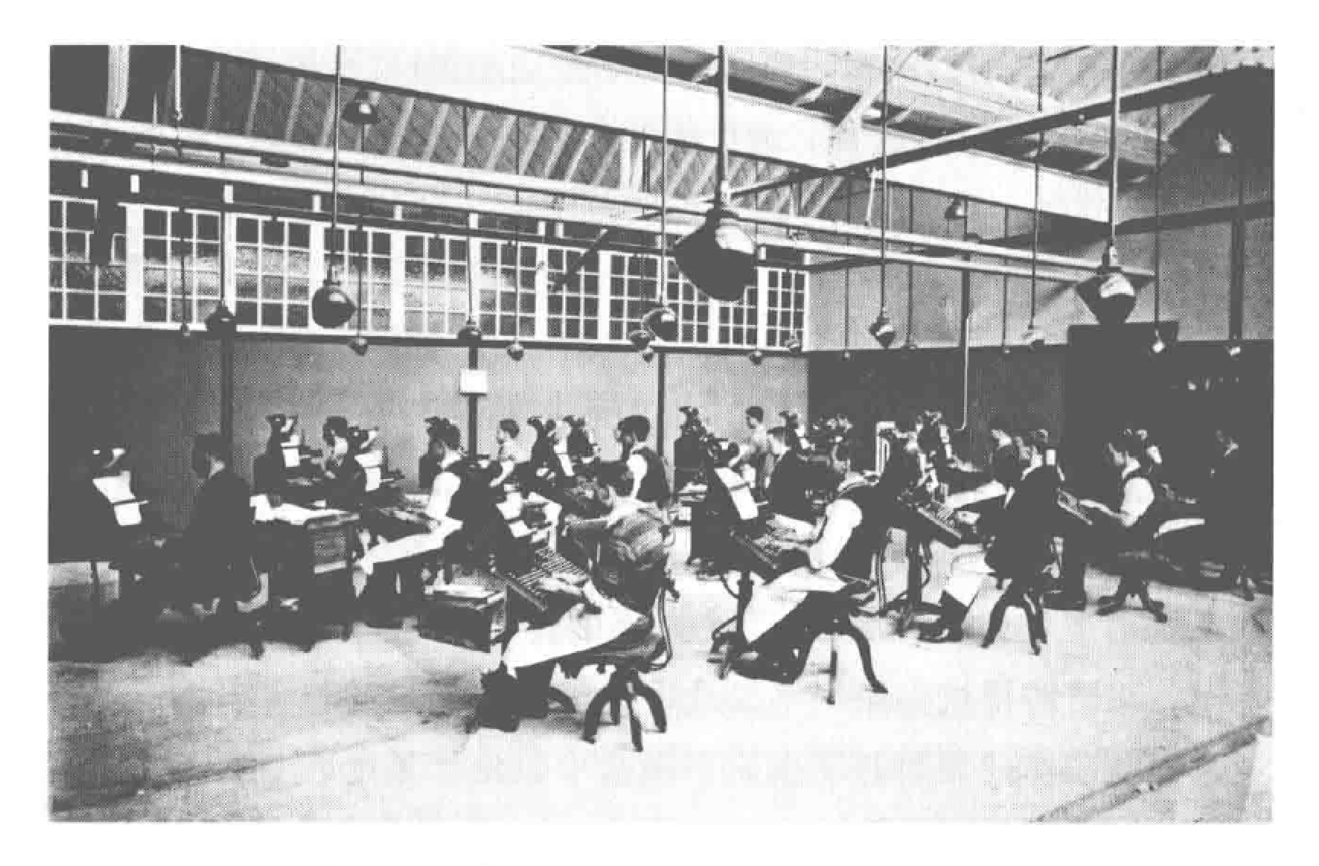


图 51.1　20 世纪 20 年代初期的一组莫诺铸排机键盘。

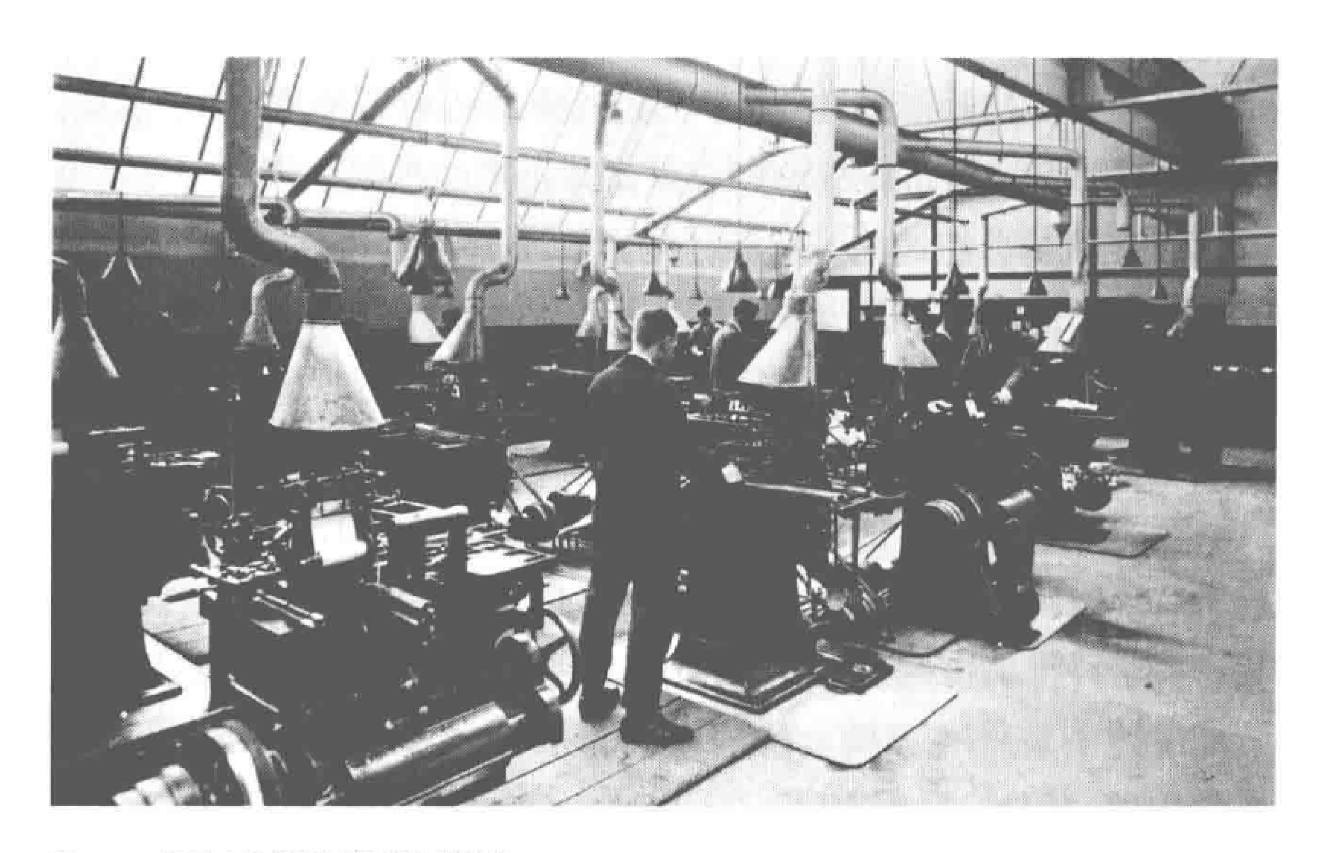


图 51.2　运转中的莫诺铸排机的铸字机。

Co.)在伦敦安装。经过多年的改进与发展，它的性能达到了很高的水平。还有其他一些使用穿孔带的机器参与竞争，但都比不过莫诺铸排机。

对文本进行手工排字的方式至少一直沿用到第一次世界大战为止，但从20世纪20年代起，大多数的文本是用莱诺铸排机、英特铸排机或莫诺铸排机进行排字的，并且如果要使用照相凹版印刷或平版印刷的话，首先必须制成原稿样张并照相。

1274

在莫里斯(William Morris)之后，一些私人印刷所和几家商业性活字铸造厂一直都在生产他们自己的字体。不过，排字机制造厂的主要精力集中在复制活字铸造厂已经生产的铅字。在20世纪初期，其中少数几家工厂——特别是“美国铅字铸造者”(American Type Founders)——进一步设计出了新的字体。当排字机开始提供一些有趣的新字体时，对于铸字工人的需求就逐渐下降了。到1950年，虽然仍有少数的铸字工人，但他们已经无法只靠制作铅字来维持生计，还要从事别的工作，例如为排字机制造商制作字模等。

1913年，英国莫诺铸排机公司不仅生产普兰丁(Plantin)字体，还生产专门为排字机设计的第一种铅字字体——因普林特(Imprint)字体。但是，直到第一次世界大战的艰苦时期过去以后，各个公司才开始留意历史上的字体式样。20世纪20年代和30年代，可以看到不少版本著名的文字版面，书籍和杂志的外观都有了改进。后来，许多书籍和杂志都广泛使用醒目的字型，特别是德国铸字工厂生产的版面。到1940年时，随着大量优质印刷材料的使用，印刷业出现了真正复兴。幸运的是，这时的印刷者充分利用这些变化，使凸版印刷发展成为全套印刷设备中受欢迎的一个部分。“凸版印刷者”这个词不再指从事凸版印刷的工人，而是具有了印刷工作设计人员的现代含义。

早在1905年，有人就提出了通过遥控来排字的设想，但直到

1928年才在纽约首次展示了成功的电传排字机。实际上，这是一种电磁装置，通过电报线路上的电脉冲来操作整行铸排机。使用遥控排字的一个实例，是安装在下议院用来将议会的会议记录原文发送给《泰晤士报》的装置。在印刷厂内部，电传排字还被用来增加排字车间的生产量，莱诺铸排机和英特铸排机都是专门为电传排字而设计的。

20世纪20年代初期，正在发展的胶印平版印刷业对铸排机生产者和铸字工人提出了新要求，他们需要制作特殊的铅字使印刷出来的字是反的，这样能减少把它转印到胶印印版上去的工作过程。有些铸字工人对此有所响应，但他们发现这样做的商业价值并没有证明自己的工作价值。铸排机生产者则认为，为了把制作铅字和照相凸版简化为单一的生产过程，需要巧妙地进行预先处理，把制作工人的工作程序颠倒过来。1922年提到的“巧妙地进行预先处理”，指的是让光线透射已经印得很好的透明纸印张的空白部分。毫无疑问，胶印平版印刷确实正在等待着照排技术运用的来临。

1275

51.4 胶印和照相排字

在20世纪的上半叶，印刷业只专注于用铅字字模排字，基本上忽视了不需要铅字字模而进行字母符号排字的实验。尽管如此，仍有一些发明家在从事着相关研究工作。1946年，照相排字才开始成为商业经营的一个领域。然而，照相排字设想的提出可以追溯到1876年。从那时起，先后有许多关于照相排字的装置取得了发明专利，只不过其中还没有一个装置是完全成功的。

关于照相排字的方式，人们提出过许多建议。例如，利用胶片条、玻璃圆盘、键杆及整行铸排机的字模等上面有黑字的白色部分进行照相排字。在20世纪50年代即将结束的时候，是最后一种设想被采纳作为第一种成功的商业化照相排字机的基础，推出了英特键盘

式自动照相排字机(图 51.3)。这种机器由英特铸排机改制而成，为当时众所周知的循环字模系统所采用，把反字嵌在字模的侧面，通常被称为“福托马特”(Fotomat)。这种采用自动照相的整行排字机，可以在一次运转中以长方形活字盘的形式整版直接排在胶片或照相纸上，还可以通过操作刻度盘选择合适的镜头，在对杂志不作任何改变的情况下，放大或缩小字体的尺寸。两副福托马特的铅字，则包括了从 4 点到 36 点各种不同规格的铅字。其他类型的照相排字机当时都处于研制过程中，此后 20 年才投入使用，它们的发展已经属于 20 世纪下半叶的技术史了。

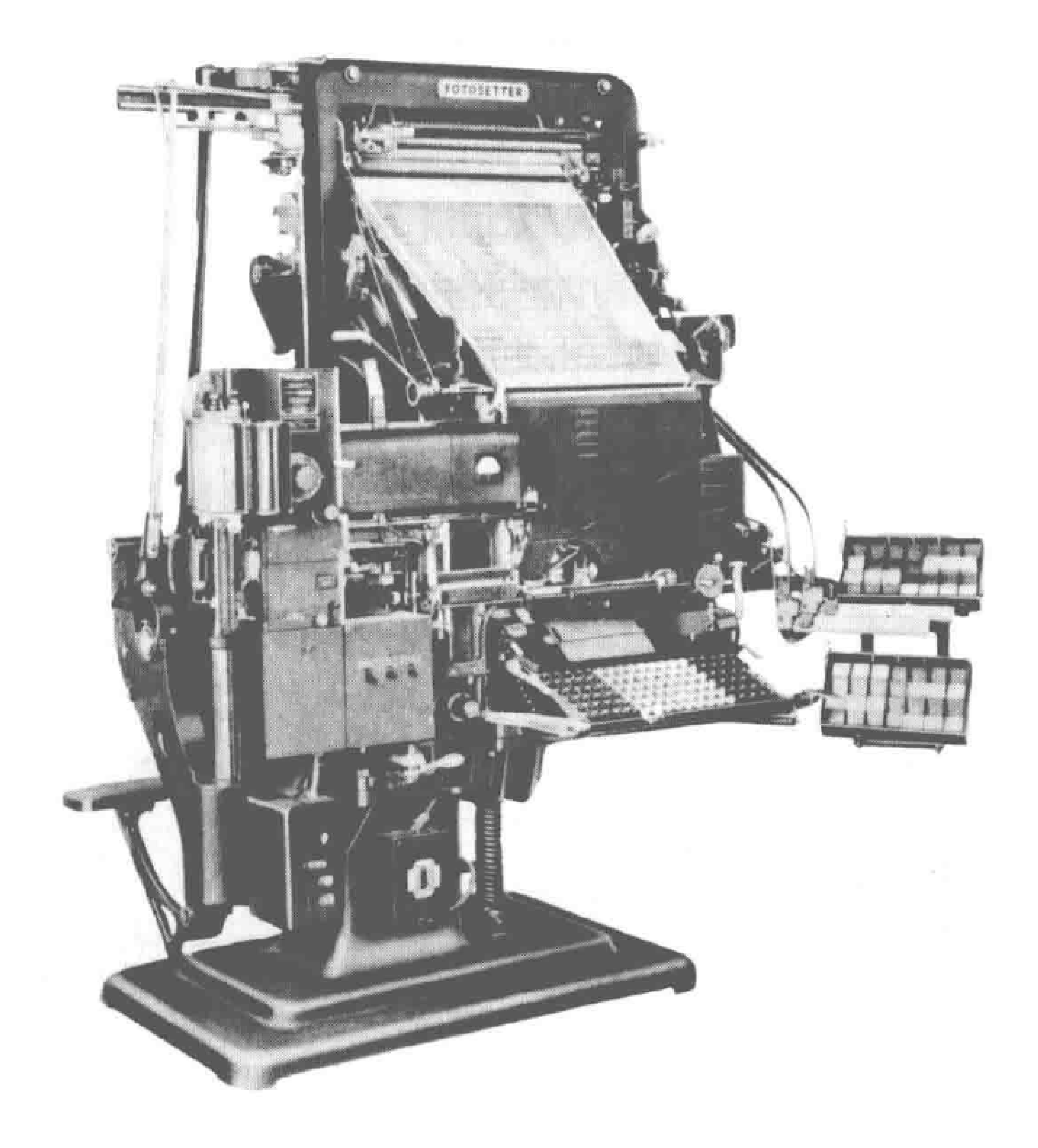


图 51.3 英特自动照相排字机。

到1900年为止，凸版平台印刷机的性能发展到了一个很高的水平，但还没有完全达到完善的自动化机器的要求。1897年，美国发明了一种自动输纸装置，许多年以后才得到广泛应用。到1914年，研制成了第一台与自动输纸装置结合在一起的凸版平台印刷机，它的自动输纸采取了将鼓风与抽气相结合的办法。

1276 进入20世纪后，尽管还有用蒸汽机给印刷机提供动力的例子，但燃气发动机已经逐步取代了蒸汽机，然后电力又进一步取代了燃气发动机。为了解决静电会引起纸张吸附在金属和木头上的问题，从1910年起采用静电消除器。由背面粘脏所引起的多方面问题，原先采用加衬纸的方式来处理，1904年以后则采用防粘脏喷雾器和专门配制的印刷油墨。

1277 在凸版平台印刷机领域中，立式印刷机的出现是一项新发明。实际上，立式印刷机就是立着放置的凸版平台印刷机，有利于实现水平方向的送纸和传纸。立式印刷机产生于1920年，由密尔沃基市的切希尔（Edward Cheshire）发明，由芝加哥的米列公司制造，这家公司

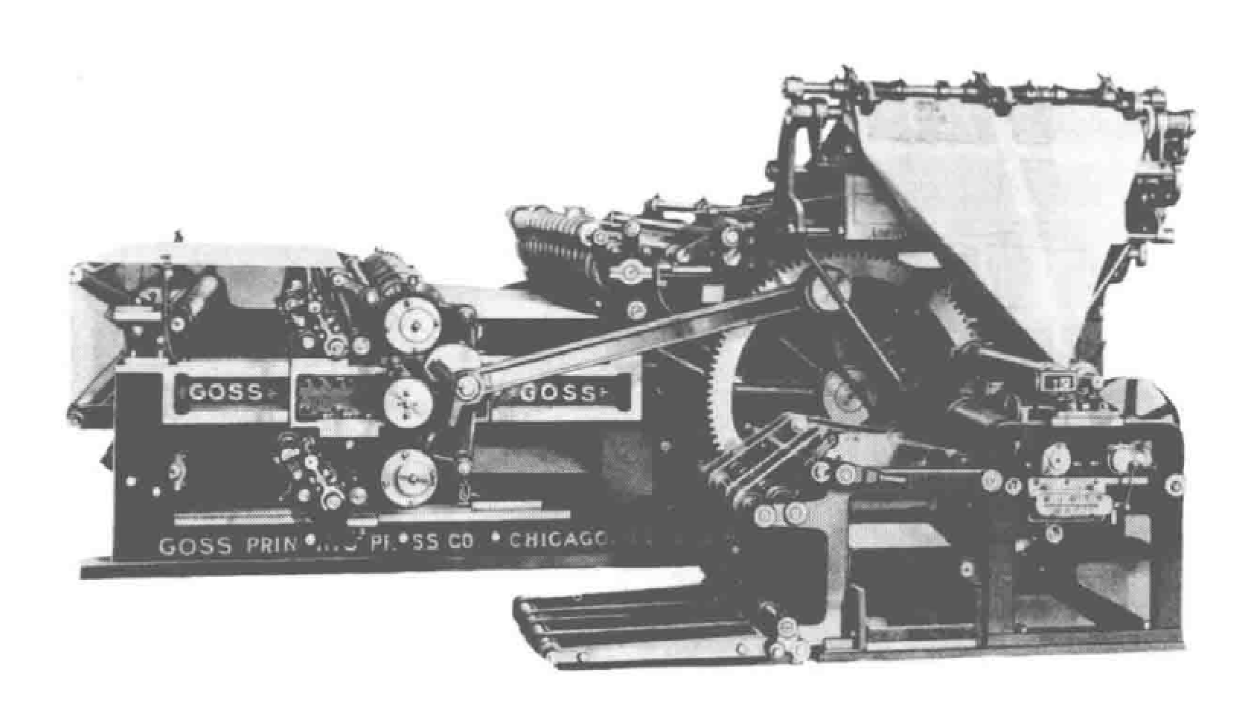


图51.4　戈斯（Goss）公司的“彗星牌”（Comet）卷筒送纸平台印刷机，约1910年。

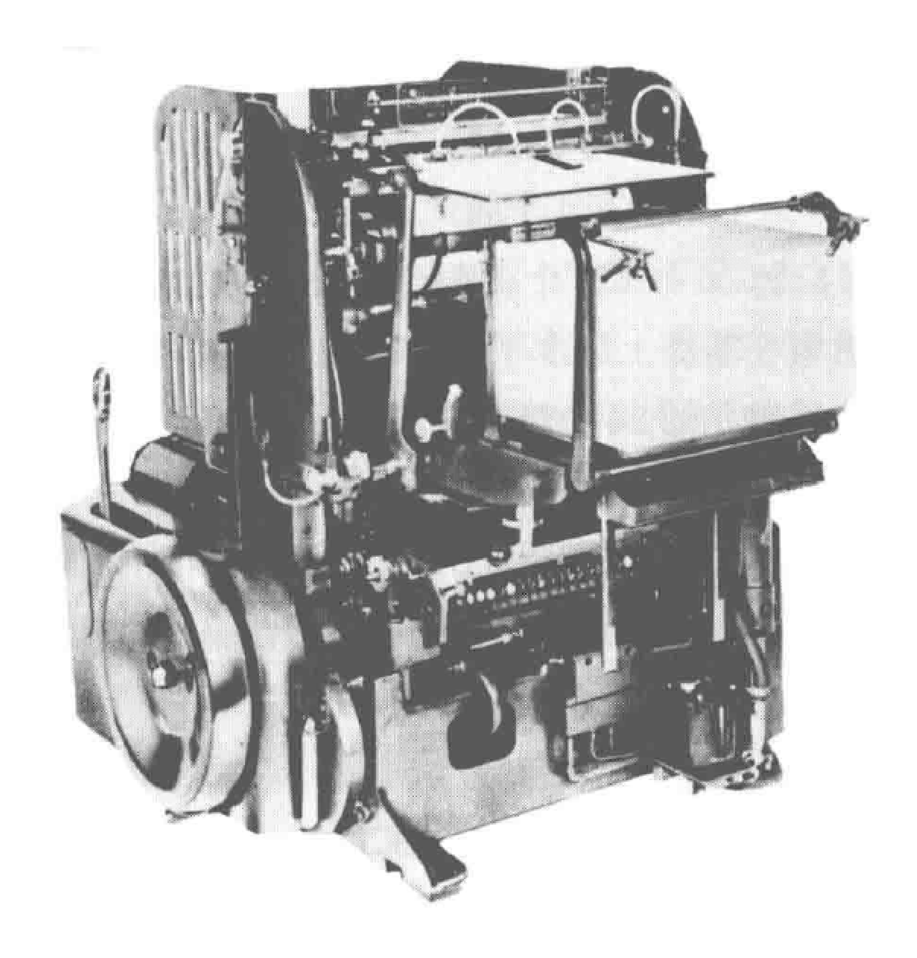


图 51.5　20 世纪一项有名的发明——米列（Miehle）立式印刷机，1920 年。

同时还制造当时最主要的凸版平台印刷机。1940 年，米列立式印刷机（图 51.5）的速度能够达到每小时 5000 印。

1278

凸版轮转印刷机在报纸的印刷中得到了极其迅速的发展，通过改进工作部件和增加印刷机组的数量，生产能力得到了提高。凸版轮转印刷机由若干旋转滚筒（其中一个旋转滚筒带动印刷表面）组成，在它们中间可以连续供给卷筒纸。在印刷滚筒上有一个弯曲的铅印版，从称为“字型纸版”的纸型中浇铸出来。在若干年间，这种纸型以湿糊状混合物为原料，用铅字印版压制而成，弄干后能够弯曲成与印刷滚筒相适应的形状。20 世纪早期，报纸逐步采用干的字型纸版。这是一种用纸浆做成的柔韧薄片，压印上铅字印版，然后用在由纽约的伍德（Henry Wise Wood）在 1900 年发明的自动浇铸机中，浇铸成曲面的印版。

在美国，轮转印刷机生产量的扩大，首先是通过增加印刷机组的方式来实现的。到了1902年，奥克塔普尔（Hoe Octuple）用4个卷筒的印刷机组（每个卷筒有4个版面的宽度，运转速度为每小时9.6万次）来印刷4个、6个或8个版面的报纸。印刷机的快速发展，还表现在印刷机组在基座上沿水平方向排列的长度和数量都有所增加。1925年，奥克塔普尔的24个滚筒的多色印刷机被当作当时世界上最大的报纸印刷机来宣传。

从1920年起，报纸印刷开始在一种低架空串联印刷机和折页机组上进行，这种机组全都按同一地面高度排列成一排。经过美国和英国的印刷机制造者的改进，卷筒纸更换可以在不停机的情况下进行，张力自动加到卷筒上。1927年，开始使用“连续接纸装置”。在印刷机全速运转时，也可进行卷筒纸的粘接工作。

从进行照相凹版印刷时，卷筒送纸轮转装置就开始使用。但在平版印刷中，平台印刷机被取代却花费了一些时间。最先取代平台印刷机的是直接轮转印刷机，后者又在20世纪20年代被新开发的卷筒送纸胶印平版轮转印刷机所取代。这种印刷机一开始就用来印刷有插图的杂志，特别是在德国。

回顾20世纪上半叶这一时期，并非所有的报纸印刷者都需要大型轮转印刷机，也不是都需要另外建立他们自己的浇铸铅版车间。然而，小规模的报纸印刷企业已经意识到若干个印版一起印刷的益处，也意识到了卷筒送纸的好处，卷筒送纸平台印刷机的出现满足了它们的需求。1889年，这种印刷机开始生产。那时，考克斯（Paul Cox）在密歇根州的巴特尔克里克发明了Duplex这种机器，开始制造卷筒送纸平台印刷机。竞争随之而来，英国和美国的许多制造商都各自生产出自己的卷筒送纸平台印刷机。在英国，最著名的卷筒送纸平台印刷机也许是1900年研制成功的Cossar印刷机。在20世纪下半叶，这种印刷机仍然有它的用途，但已经开始被卷筒胶

1279

印平版印刷机所取代。例如，地方报纸的印刷改用了别的印刷方法。

当照相排字对平版印刷者和凹版印刷者都有明显益处时，照相排字和照相平版印刷的结合促进了凸版印刷的发展。在这一方面，主要的发展表现是研制成了一种很薄的、可卷曲的柔性凸印版，可由雕版工人用照相排字的文稿制作而成。但是，正如“无粉蚀刻法”那样，柔性凸印版虽然起源于20世纪30年代和40年代，但它的发展则是10年后的事情了。实际上，正是把这种柔性凸印版应用到别的技术开发中，使20世纪70年代成了传统印刷技术与以扫描技术和电子成像技术为基础的新印刷技术的分界线。1900—1950年，印刷技术变化的步伐如此之快，让人不难理解这段时期的印刷技术发展史必须进入技术史。

注 释

(1) *凸版印刷或活字印刷* 是指用凸起的表面进行印刷，因为油墨只附着在这些凸起的铅字或印版的表面上而得名。*凹版印刷* 是指利用图像被刻入或腐蚀进其中的印版进行印刷，印版上多余的油墨会被擦掉，使油墨只滞留在印版上凹陷的网穴中。*照相凹版* 是通过光线的作用，用网屏把图像分割成许多容纳油墨的细小网穴，印版上多余的油墨可用一种柔软的“刮墨”刀片把它刮干净。*平版印刷* 是指印刷部分和非印刷部分在同一表面上，印刷部分吸墨，非印刷部分排斥油墨。在平版印刷中，最有名的一种印刷方法是*石版印刷*，在一个石印版上让图像部分沾满油墨，周围没有图像的部分则为吸水区。现代平版印刷源于金属印版，或用摄影技术把图像印在其上的印版。

印刷方法可分成平台印刷方法和轮转印刷，前者的印版是平面的，后者的印版则是一个弯曲的滚筒。印刷既可以采用直接印刷工艺，也可以采用间接印刷工艺。供应的纸张可以是平板纸，也可以是卷筒纸（即用一个卷筒供应纸张）。胶印是一种间接印刷，并且主要在平版印刷中使用。例如，卷筒胶印平版印刷就是在用卷筒送纸的印刷机上进行平版印刷的一种间接印刷方法。

胶印技术还可以应用到别的印刷方法中去，送纸的方法也不仅仅

只能用于一种或另一种类型的印刷方法。卷筒送纸和单张送纸的方法都可以用于轮转印刷机，同时也可以用于平台印刷机。

1280

（2）据《彭罗斯年鉴》（*Penrose Annual*）的编辑甘布尔（William Gamble）所说，在照相制版术发展的初期，曾宣布可将照片精细的一半色调全部复制出来，据此缩写为艳调工艺。1901年，这位编辑在《照相制版术年鉴》（*The Process Year Book*）（此后在《彭罗斯年鉴》）上发表了一篇《奇妙的照相制版术》（*Wonderful process*）的文章，其中描述了艳调加网技术的发展史。

（3）戴维斯（Alec Davis）在《走向铁皮印刷的历史》（*Towards a history of tin-printing*）［《印刷史学协会会刊》（*Journal of the Printing Historical Society*），No.8（1972）］这篇文章中，阐述了巴克利的发明专利曲折而复杂的发展过程，同时还阐述了胶印机的发展过程。在文中，粘脏或胶印这些词语被赋予另一种含义，即附带着把油墨从刚刚印好的印张转换到另一印张上。

（4）参看：Mertle，J. S. Presensitised lithographic printing plates，in *Penrose Annual*. Lund Humphries，London. 1953 。

（5）“齐行”（justification）这个词的含义存在变化的过程。它可以理解为在用单个铅字排字时每行都必须“对齐”，也可以理解为每行都必须达到标准的长度。在后一种含义的情况下，每个段落的最后一行哪怕只有一个词，也必须用填空白的嵌条把这行排满，以达到标准长度。只不过填空白的嵌条高度低于铅字的高度，因而在印刷时不会被印出来。对于“齐行”的含义，印刷术专家倾向于解释为每行都必须达到相等的标准长度。随着照相排字方法的使用，这种含义已经被固定使用。

参考书目

Beeching, Wilfred A. *Century of the typewriter.* Heinemann, London. 1974.
Glaister, G. A. *Glossary of the book.* Allen and Unwin, London. 1960.
Lilien. Otto M. *History of industrial gravure printing up to 1920.* Lund Humphries, London. 1972.
Moran, James. *The composition of reading matter.* Ernest Benn, London. 1965.
——. *Printing presses.* Faber and Faber, London. 1973.
——. *Printing in the 20th century.* Northwood Publications, London. 1974.

第52章 摄影术

赫尔穆特·根歇姆
（HELMUT GERNSHEIM）

在摄影术开始采用金属和纸的头60年里，技术飞速发展。从摄影师必须亲手准备的、要经过几分钟才能曝光的慢速感光材料，发展到由工厂生产的、玻璃干式感光板和感光胶片，感光速度已经是慢速感光材料的400倍。重达112磅的带有附件的笨重摄影设备，已经减小为一架几乎可以放在口袋里、装有可曝光上百次胶卷的照相机（第V卷，第30章第1篇）。同早期相比，20世纪上半叶划时代的发明寥寥无几，对于现有基础的进一步改进比新的发明更加引人瞩目。

现代摄影术始于1880年，随着快拍明胶干板的大量生产、手提摄影机的采用和小底片在溴化银相纸上放大等开始发展。9年后，随着柯达现代系列的出现，有卷轴可以装入照相机、能够进行大量曝光的赛璐珞长胶片系统问世。最初的色盲感光乳剂对某些颜色已经能够感光，纵然在1885年过早地应用了“正色胶片”（能够准确地复制本色）这个术语，但色彩感光原理一旦确立，感光乳剂成为全色性就仅仅是时间问题了。所谓全色感光，就是对所有光谱颜色均能感光（1906年）。

在光学方面，由于去像散透镜镜头（1889年）得到最大限度的校正，摄影师终于获得了没有像差的镜头。下一步是研制更大的镜

头孔径或光圈，以提高其速度。这样，黑白摄影术的所有基本要素便在 19 世纪末完全牢固地确立起来。1895 年发现了 X 射线，但直到 20 世纪的最初几十年，它才被认识到可以应用在医学和牙科学上（第 54 章）。

1282

与前 60 年的发明相比，20 世纪头 50 年那些改变了摄影术进展的发明稍逊一筹，但它们为那些长期困惑科学家们的重要问题提供了决定性的、合乎逻辑的解决方法。全色摄影材料的生产、彩色摄影的采用、微型摄影术的确立，以及拍照后立即成像晒印的即时成像摄影系统的诞生，都出现在 20 世纪。

52.1 全色摄影材料的生产

涂在底片材料上的溴化银明胶乳剂经历过数次重要改进，目的是解决以下四个问题：(a) 扩大乳剂对光谱所有颜色的敏感度（彩色摄影和精确复制油画的先决条件）；(b) 提高感光度（减少在光线很差的场合下的曝光量，并为拍摄快速运动物体提供条件）；(c) 缩小银粒的大小，这是高速摄影底片的不足之处；(d) 试图找到一种同样透明却不易燃的软片基，以代替非常易燃的硝酸纤维素片基。

底片材料问世于 1885 年，直至 20 世纪 70 年代还在生产。尽管它名为正色，但对蓝光一直过于敏感，对红光又极不敏感。在许多技术工作方面，人们还未感觉到这些缺点。事实上，底片图像在较柔和的全色材料上常常比急剧变化的色调层次更可取。此外，使用黄色滤色镜可以轻而易举地克服乳剂对蓝色光线过于敏感的弱点，正色胶片则适于拍摄风景、建筑物和雕塑等多种用途。然而，在翻拍油画时，红色显得过暗。所以，必须对底片进行润色处理，才能得到一幅色调逼真的原色复制画。

1903 年，任职柏林工业大学的米特（Adolf Miethe）及助手特劳贝（Arthur Traube）通过添加乙基红的办法，在扩大正色乳剂对黄色和

橙色的敏感度方面获得成功。至于乳剂对红色和红外线敏感度的解决，还是由凯尼格（Ernst Koenig）和霍穆尔卡（Benno Homolka）在法本（I. G. Farben）工厂相继发现新的染料松色素和频哪氰醇之后的事情，分别发生在1905年和1906年。1906年，伦敦的莱坦和温赖特有限公司（Wratten and Wainwright Ltd.）首次将真正的全色干片推向市场。沃格尔（Hermann Vogel）从事色彩敏感化的先驱性工作始于1873年，最终获得成功，使自然与艺术全部色彩的准确重现成为可能，朝彩色摄影迈出根本性的一步。

长时间高温下加热乳剂以求提高摄影材料感光度或速度的办法，造成明胶体部分分解，明胶中的银粒变得粗糙。它严重影响了小型相机摄影在1925—1932年最初6年间的生存与发展，因为35毫米底片比传统底片（当时尺寸为6厘米 ×9厘米和9厘米 ×12厘米）需要更高倍数的放大。这个问题引起了极大关注，最终被特种微粒显影剂——例如苯二胺——在低温（18摄氏度）和较长时间（20分钟）的作用下所克服。为了便于控制显影时间和温度，胶片可以螺旋状置于槽内的特制显影罐出现了。到1932年前后，一些重要制造厂也采用了低速微粒胶片。

在电影业，由于易燃的硝酸纤维素胶片过热而造成的事故不断增加，不易燃的醋酸纤维在1930年前后应运而生。这一安全措施也广泛用于小型相机的35毫米电影胶片，以及成卷和成片的摄影胶片。

52.2 感光测定术

计算曝光量的一个极其重要的因素，是所用底片材料的感光度或曝光速度等级。为此，摄影曝光度的标准系统必须建立，应用这一系统的国家和厂家也必须认同一致。1960年以前，有效的速度等级在英国是用H和D数字表示的。这是取自摄影曝光度科学方法的奠基

人胡尔特（Ferdinand Hurter）和德里菲尔德（Vero Charles Driffield）的姓。1890年，他们把摄影底片曝露在一系列已知强度的光线下，并测量在显影（伽马曲线）过程中所获得的明暗度，从而确定了摄影底片的速度。

1894年，欧洲柏林的沙伊纳（Julius Scheiner）提出了另一种系统，将底片固定在一个旋转圆盘后面，圆盘上有按一定比率逐渐从明到暗的编号段，并在1米外的标准烛光中曝露1秒钟。当将这张显影的底片放在白纸上时，清晰可见的最后编号即是该负片乳剂的速度。直到德国工业标准（Deutsche Industrie Norm，简称DIN）计量（每1 DIN数加10即沙伊纳数，例如15 Sch=25 DIN）系统在1936年问世之前，胶片的包装一直印着沙伊纳等级。

在美国，韦斯顿（Weston）量度在20世纪30年代被美国标准协会（American Standards Association，简称ASA）推行的标准所取代。1960年，摄影乳剂速度的测定法在世界各国均进行了修正，获得英国、德国、日本和美国等主要生产国家一致认可。自那时起，摄影材料只用ASA和DIN标记，80 ASA等于20 DIN。

52.3 曝光表

除了感光材料的速度等级外，曝光时间取决于许多因素，例如光的强度、镜头的焦距和所使用的光圈等。在简单的曝光表格和曝光时间计算器上，当所有的数据确定后，能够立即读出曝光量。1880年以后，应用新出现的更精确的设备，依据把一条含氯化银的纸变黑到已知的标准色彩所需的时间（以秒计算），便可测出光的光化强度。第一次世界大战时，曝光器开始逐渐被可视的或光学的计光表所取代。在拍照时，被摄物体是通过举到眼前的计光表上的小孔观察到的，小孔上镶着一块刻有由明到暗光度编号的蓝色玻璃。当将仪器设置在已知数据的号码上，曝光量便可以从仍然可

见的最末号码获知。1888 年，第一个这种光学曝光计由格茨（C. P. Goerz）最先采用。

1930 年，人们发现硒的导电性在光的影响下是变化的，对于摄影曝光表而言，这无疑是一种可利用的特性。两年后，在亚硒酸盐电池的基础上，美国的韦斯顿和德国的戈森（Gossen）首次在市场上推出以亚硒酸盐为基础的光电测光表。蔡司·伊康（Zeiss Ikon）公司生产的康泰福莱克斯（Contaflex，1935 年）和康泰克斯Ⅲ（Contax Ⅲ，1936 年）两种相机，是第二次世界大战之前仅有的首次将硒曝光表装入机身的相机。

第二次世界大战以后，几种小型相机有了内装曝光表，通常安装在取景窗附近。它们测量从物体反射回来的光以及偶然落在光电管上的光，影响读数的准确性受到影响。事实上，唯一可靠的测量是对通过镜头而形成影像的光的测量。1964 年，在镜头后装曝光表由日本厂家朝日（Asahi）在潘太克斯（Pentax Spotmatic）相机上首次实现。两个高度敏感的硫化镉传感器测量光并推动曝光指针，由于胶卷事先已装好并已知快门速度，摄影师只需调整光圈到指针在水平位置，然后进行曝光。镜后测光革新了相机的设计，大多数带有可变镜头的高级小型相机，现在都有这种装置，或装有半自动曝光系统。不过，装有固定镜头的廉价相机仍然必须测量反射光。

1285

52.4 快门

1880 年后风行的明胶干板和小尺寸负片，使曝光时间缩短到低于 1 秒，同时要求高速可变快门。这些快门都装在镜头的前面，一种是同心扇形金属片或是以弹簧固定以充气球启闭的转动圆盘式，另一种是气动闸刀式或卷帘式，速度由充气的压力或弹簧张力所决定，从 1 秒到 1/100 秒。1900 年以后，这些难以操纵的活板快门被装在镜头组合之间的光圈或扇形快门所取代。这是一种前镜头快门，由

纽约州罗切斯特市(Rochester)的鲍希和伦布(Bausch and Lomb)在1888年首创。德克尔(Friedrich Deckel)在1902年和戈捷(Alfred Gauthier)在1904年采用的Compound和Koilos扇形快门，先后被证实优于其他大多数快门，并且适用于德国的多数相机。当然，快门速度是通过气阀控制的。为使曝光速度能达到1/250秒，慕尼黑的德克尔(Deckel)在他的康普(Compur)快门上采用了钟表机械的齿轮(1912年)。自1935年以来，这种快门一直普遍应用在速度达1/500秒的较贵重手提相机上。供业余摄影用的廉价相机通常只有戈捷的普浪多简易快门，极限速度为1/200秒。

所有速度高达1/1000秒的新闻和微型相机，都有一个装在镜头后面的帘幕式快门。带有可变缝隙的帘幕式快门是英格兰威廉(William England)在1861年发明的，那是真正需要高速快门很久以前的事。这份功劳常常错误地归于德国摄影师奥托马尔·安许茨(Ottomar Anschütz)，他在1883年研究白鹳飞行时用过这种快门，并且把这种快门放到他在1888年获得的相机专利中。随后，格茨 也把这种快门安装在格茨-安许茨新闻相机上。第一架具有帘幕式快门的英国相机是康比耶·博尔顿(Cambier Bolton)牌，这种单镜头反射式相机由新闻摄影师米尔斯(F. W. Mills)设计，伦敦的沃森父子(W. Watson and Sons)在1898年完成了生产。1942年，艾勒克斯(Ilex)首次采用同步闪光快门，从而使电子学进入了快门工业。

52.5 镜头

1900—1950年，曝光时间大量缩短。这不仅是由于负片材料的感光度不断增加，负片尺寸进一步减小需要焦距更短的镜头，还因为高级镜头的孔径逐渐增大。1893年，最早的达格(Dagor)双层去像散透镜的孔径是*f*6.8。1902年，天塞(Tessar)镜头孔径是*f*4.5。1925年，莱卡(Leica)的埃尔马克斯(Elmax)相机是*f*3.5。第二次世界大战之前，

最有权威的是f1.8的厄玛诺克斯（Ermanox）的厄诺斯塔（Ernostar）镜头（1925年）。从那时起，最大值为f1.4甚至f1.2孔径的去像散透镜设计出来。塔库玛（Takumar）的两种镜头都安装在朝日潘太克斯相机上。考虑到每个连续加大的光圈是下一个较大的光圈数字或较小镜头孔径的曝光量的一半，同时天塞镜头的速度是达格的4倍（因为它跳到了f5.6，在f4.5和f6.8之间），塔库玛的f1.4镜头如果使用最大光圈，速度可为达格的32倍左右。事实上的速度甚至更快，因为大约在1950年以后，所有的镜头都“敷膜”了，被涂上一层氟化镁薄膜，目的在于消除从空气到玻璃表面的反射光所造成的翳雾斑。在由许多部件构成的镜头中，这种翳雾斑可以把光传导减少差不多50%。

在光线较弱的条件下拍照时，需要用最大的孔径。对大多数业余摄影者来说，极少需要速度超过1/250秒。小型相机的应用范围不断扩大，不论任何对象或在特殊的条件下，均可通用。变焦镜头的采用也是同样道理。变焦镜头是从同一立足点以不同放大率进行拍摄的具有可变焦距的镜头，20世纪30年代问世，用于避免电影摄影机变换镜头而中断连续拍摄。在静止摄影中，变焦镜头使相机更为多用，可省去附加镜头。1958年，最初的可变焦距镜头由沃哥兰德（Voigtländer）首先采用，可变焦距为36—82毫米。20世纪70年代期间，尽管尼康（Nikkor）变焦镜头50—300毫米的范围与众不同，但对35毫米相机来说，变焦镜头的范围通常是70—150毫米。为确保精确地聚焦，变焦镜头比普通镜头需要为数更多的镜头部件。塔库玛变焦距镜头有14个部件，上面刚提到的尼康有20个。变焦镜头的不足之处是太重，光圈较小。

20世纪70年代，日本小型相机镜头的视野范围比德国在第二次世界大战之前制造的镜头要大8—9倍。例如，潘太克斯全套装备就包括24个镜头，其中有大到拍摄野生动物的1000毫米的望远镜

头，小到近距离拍摄的18毫米鱼眼广角镜头。后者是范围最大的广角镜头，可将视角扩大到180度。1900年，格茨·海布根（Goerz Hypergon）厂家采用的广角镜头视角为135度。鱼眼镜头拍摄的图像难免存在扭曲现象，大多数读者对此都有所了解。

52.6 摄影器材

随着干板的工业化生产而出现的摄影术简化，吸引了不断增多的业余摄影者，从而开辟了一个十分重要的新市场。业余摄影者迷恋和轻信摄影器材，呼吁设计最简易和小巧的相机，一方面导致了供取乐的玩具“侦探”相机的出现，另一方面也促进了当今广为使用的高精度小型相机的产生。到1900年，在英国估计有1/10的人——400万人——拥有照相机。在美国，大概也是这个比例。不过，整个欧洲的比例是相当低的。20世纪70年代，美国有400多万业余摄影者，成了世界上拥有相机最多的国家，其次是联邦德国、日本和英国。

新的业余摄影者大多是逍遥自在的星期日拍快照的人，他们的要求同执着的业余摄影者及专职摄影师很不相同。直到1939年左右，欧洲的专职摄影师们还一直使用9厘米 ×12厘米和13厘米 ×18厘米底片的相机，拍摄人像、风景、建筑物和广告。1932年，在*f*64组形成后，对高清晰度和写实主义的要求成了美国人的倾心追求。直到1950年左右，美国所有的知名摄影师还在使用8英寸 ×10英寸（20厘米 ×25.5厘米）户外用大型相机，照片只能通过同底片的接触来印片。尽管小型相机对于新闻报道工作有明显的长处，但是就连《生活》（*Life*）杂志也不愿采用它们，直到第二次世界大战期间材料短缺时，才不得不使用它们。在此之后，引导时代新潮流的杂志《时尚与名利场》（*Vogue and Vanity Fair*）的编辑们，依然坚持使用未经剪裁的8英寸 ×10英寸接触印片达10年之久。在美国新闻界，罗切斯特

生产的单镜头大型相机格拉福莱克斯（Graflex）用了几十年，不过用的却是天塞镜头。

相对而言，直到1930年前后，无论美国还是欧洲的普通业余摄影者，都使用9厘米 ×12厘米底片或6厘米 ×9厘米的卷轴胶卷的盒式或轻便型金属折叠式或支撑式手提相机，它们均不需要三脚架。显然，摄影者对当地药剂师或冲印（D&P）公司的接触印相技术是满意的。1903年，巴黎的戈蒙（Gaumont）研制出了一种被称为4.5厘米 ×6厘米胶卷（或底片）相机，这是接触印制的照片可贴在相簿上的规格最小的相机。

尽管1880年后在快速溴化相纸上进行扩印的过程十分简单，人造光下只需几分钟曝光时间（从前用蛋白纸，需要在阳光下连续照射几个小时），但直到1925年采用莱卡微型相机以前，仍然有例外的情况。对所有使用35毫米胶卷和其他小底片相机——例如厄玛诺克斯和禄来福来反光（Rolleiflex）照相机（当时这类相机已进入市场）——的人来说，扩印是绝对需要的。

52.7　小型相机及其他小底片相机

电影工业所需要的35毫米胶卷的大量生产（第53章），为静物摄影带来了实惠。对统一规格胶卷的传动来说，打孔是基本要求，导致不止一个相机设计师制造出安装这种胶卷的小型相机。1912年，美国密苏里州的史密斯（George P. Smith）进行了这样的工作。两年以后，柏林的罗思（Levy Roth）制造出“小记录器”相机，能够一次拍摄18毫米 ×24毫米照片50张，镜头光圈为f3.5，外形尺寸（5厘米 ×6厘米 ×13厘米）与后来的莱卡相同。莱卡的原型是德国韦茨拉尔（Weizlar）莱茨（Leitz）的显微镜设计师巴纳克（Oskar Barnack）在1913年制造的，他自己用来检查摄影机曝光。

由于第一次世界大战和随后在德国出现的通货膨胀，莱卡相机

1289

的生产推迟了11年。1925年，500架莱卡相机样品首次在莱比锡博览会展出。拜赖克（Max Berek）设计的相机外形简洁，带有埃尔马克斯优异的镜头，以*f*3.5的最大光圈提供一流的清晰度，给猎奇者和商人们留下了深刻印象。这种相机装有帘幕式快门，速度为1/20—1/500秒。当速度慢到1—1/20秒时，相机会发出令人不安的声音。为满足需要，莱茨在1926年推出了另一种产品，在康普快门中采用了埃尔马克斯装置，速度为1—1/300秒。后来研制出的样品更具永久价值，例如1930年间采用的镜头可互换性，以及两年后出现的聚焦的测距仪。

随着莱卡相机的出现，小型摄影的时代开始了。它不仅把小型相机提高到科学的精密仪器水平，而且装配了由莱茨生产的各种附件和特种装置，成为适用于很多领域的作为摄影系统基础的第一台仪器。最重要的是，它提供了35毫米底片使用的放大机。据人们所知，以前的小型相机并没有这种放大机。19世纪60年代，伯奇（Adolphe Bertsch）等人提倡使用微型胶片并随后放大，当时被认为是理想的方法，不过放大机里没有人造光源和快速溴化相纸，这种系统注定无人支持。

1931年问世的莱茨·福克马特（Leitz Focomat）是20世纪30年代进入市场的一种全新立式胶片放大机的雏形，适用于35毫米底片，比当时流行的规格（4厘米×4厘米，6厘米×6厘米）稍大。在这种放大机中，乳白色的电灯泡提供光源，聚光器或双聚光器将光线均匀地扩散到底片上，再通过放大镜头投射到基板上，通过在垂直管上升高或下降的整个装置，获得所期望的放大倍数。1930年以后，痴迷的业余摄影者乐于很简单的放大，把厨房和浴室当成暗室。从1960年起，随着彩色胶卷的广泛应用，这种潮流不得不改变，因为偶尔使用的私人暗室无法提供需要科学控制的温度条件和专业设备。

然而，在最初几年中，小型摄影不容置疑的优越性被不可忽略的缺陷抵消了。尤其是高分辨率的埃尔玛（Elmar）镜头，无法与当时胶片的分辨率相匹配。在 24 厘米 ×30 厘米的放大照片中，清晰可见的粗糙颗粒导致了线条的普遍柔化。同 80 年前的印相褪色现象一样，粗糙颗粒是人们探讨的严肃问题。临时解决冲印的时间和温度的办法找到了，那就是使用 1931—1932 年间采用的所谓微粒显影剂，但真正的答案还有赖于慢速微粒胶片的生产。大约在 1933—1934 年间，微粒胶片投入市场。

1290

与此同时，小型底片相机满足了人们的想象力，因为即便是厄玛诺克斯的 4.5 厘米 ×6 厘米底片也比 35 毫米胶卷大若干倍，没有放大后出现颗粒的不良现象。此外，底片在曝光后可以单独直接显影，不需等待整卷胶卷完成 36 次曝光。对于任何新闻工作者来说，这都是需要考虑的重要情况。同时，厄玛诺克斯推出的厄诺斯塔 *f*2 镜头（图 52.1）比莱卡更具优越性，速度为埃尔马克斯的两倍。对于不得不经常在暗淡光线下工作的摄影记者来说，这是厄玛诺克斯的最大贡献，也成了它最受人们喜爱的关键因素。这种装有帘幕式快门、快达 1/1000 秒的相机，是 1924 年德国德累斯顿地区厄尼曼厂（Ernemann Works）在莱卡出现的前一年推向市场的，同时提出了："凡是你能看得见的，用厄玛诺克斯都可以拍摄下来"的大胆口号。事实上，直到第二年厄诺斯塔 *f*1.8 镜头相机问世时，摄影



图 52.1　厄玛诺克斯相机，1924 年。

师的美梦都未曾实现。然而，厄玛诺克斯在100年的艺术历程中，确实首次在光线暗淡又不准使用闪光灯的条件下，使快速拍摄舞台演出、政治会议和室内社交活动成为可能。

1924年，由法兰克福的普劳贝尔（Plaubel）推出了新闻摄影者欢迎的可装更大规格底片的另一种流行相机，它是装有安蒂科马（Anticomar）*f*2.9镜头的6厘米×9厘米制式的马金纳（Makina）。在20世纪30年代，多数业余摄影者的相机使用6厘米×9厘米的卷轴胶卷，较有声誉的是使用同样规格胶卷的单镜头或双镜头6厘米×6厘米制式的反射式相机。反射式相机具有优越性，可以通过以45°角安装在镜头后面的、将图像反射到毛玻璃屏幕上的反光镜，对拍摄对象聚焦和观察，直到曝光的瞬间。双镜头反射式相机有一个取景镜头，带有静止的镜子，下部安装了带有一块固定镜片的拍摄镜头，图像出现在相机顶部的特种盒内。在单镜头反射式相机内，曝光时反光镜自动移到相机顶部的水平位置。在维多利亚时代末期，较大规格的单镜头和双镜头相机已经存在。它们作为精巧的手提相机被频繁使用，创造了20世纪70年代以前深受欢迎的相机的原型。其中，一些主要相机的突出特色值得单独一提。

1929年，不伦瑞克的弗兰克（Franke）和海德克（Heidecke）、布劳恩施威格把禄来福来反光照相机推入市场，成为规格为6厘米×6厘米的众多类似的双镜头反射相机的先驱。它有一个装有康普快门的天塞*f*4.5镜头，速度为1—1/300秒。从20世纪60年代末起，由于使用35毫米胶片的单镜头反射相机深受欢迎，双镜头反射相机的生产明显下降。第一架单镜头反射相机是1936年由德累斯顿的伊哈吉（Ihagee）公司生产的克奈·阿斯克塔（Kine Exacta），它有一个*f*3.5天塞镜头、一个帘幕快门以及可互换的镜头。这家公司还在使用6厘米×9厘米卷轴胶卷的基础上，制造出拍摄4厘米×6.5厘米照片的单镜头反射相机。1936年，科奇曼（Kochmann）研制出另一

架6厘米 ×6厘米规格的著名单镜头反射相机，它是装有一个克塞纳（Xenar）*f*3.5镜头的科莱尔（Korelle）反射相机。

在享有国际声誉方面，蔡司·伊康公司推出的小型相机康泰克斯并不比莱卡逊色。这种相机在1932年初次露面，装有一个蔡司索纳（Zeiss Sonar）*f*2镜头和一个帘幕快门，当时早期生产35毫米胶卷所遇到的麻烦已经成为过去。这里还得提及1937年至20世纪70年代保持不衰的超小型相机，这就是使用特种胶卷可以拍摄50张8毫米 ×11毫米照片的米诺克斯（Minox）。米诺克斯最初由拉脱维亚的里加（Riga）生产，第二次世界大战后在联邦德国继续生产。

1292

包括临近战争时和战后继续生产着的型号，所有上述设备都得到了相当大的改进。德国的相机和光学工业在领先50年后，在1945年因国家分裂而遭到了毁灭性打击。这主要在发生了变化的东部地区，大破坏后剩余的设备被拆除并运往俄国。像蔡司这类的重要公司，已经脱离了位于耶拿（Jena）的垄断过整个德国和许多国家镜头生产的肖特-蔡司（Schott-Zeiss）光学玻璃制造厂，只能在联邦德国从头做起。

在这种形势下，日本的相机工业在战后上升到优势地位。1/3的日本摄影产品进入美国，这当然与日本政府的出口补贴和美国政府不限制进口的政策有关。20世纪60年代，其他国家也放松了对日本设备的关税和配额壁垒，因为欧洲厂家在质量和价格上都无法抵挡。同时，日本相机在第二次世界大战前后赢得了出色仿效德国一流相机的声誉。20世纪50年代中期，日本的一些研究机构在设计和生产高级相机方面大踏步前进，并取得重大进展。随后，日本摄影设备的设计和质量跃居世界之首。著名的蔡司康泰克斯相机由日本雅西卡（Yashika）生产（另一型号在东德生产），瑞士的一家商行掌握着莱茨相机50%的利润，这样的事实最清楚地表明联邦德国丧失了在这个领域里的霸主地位。到20世纪70年代，日本的6家主要相机生

产厂家——佳能（Canon）、雅西卡、朝日、日本（Nippon）、美能达（Minolta）和奥林帕斯（Olympus）——雇用了近2万工人。从1959年到1969年，日本摄影产品的产值增加了2倍。现在，市场上出售的单镜头反射式相机有2/3是日本货。朝日的潘太克斯相机型号最小，最受买主欢迎。

52.8 专业摄影室设备

照相、广告、建筑、工业和复制等专业工作需要特殊设备，底片通常是9厘米 ×12厘米和13厘米 ×18厘米的规格。这类相机有一些特点，例如要有一个长皮腔，前部装有可升、可变换镜头的摇板，尾部装底板。这种方形的相机还有更多的优越性，它不必改变相机机体的位置，毛玻璃框和底片夹板可以从竖式变为横式照片。这些相机的前后部分能分别在光具座上移动，以此获得最大的多面性。

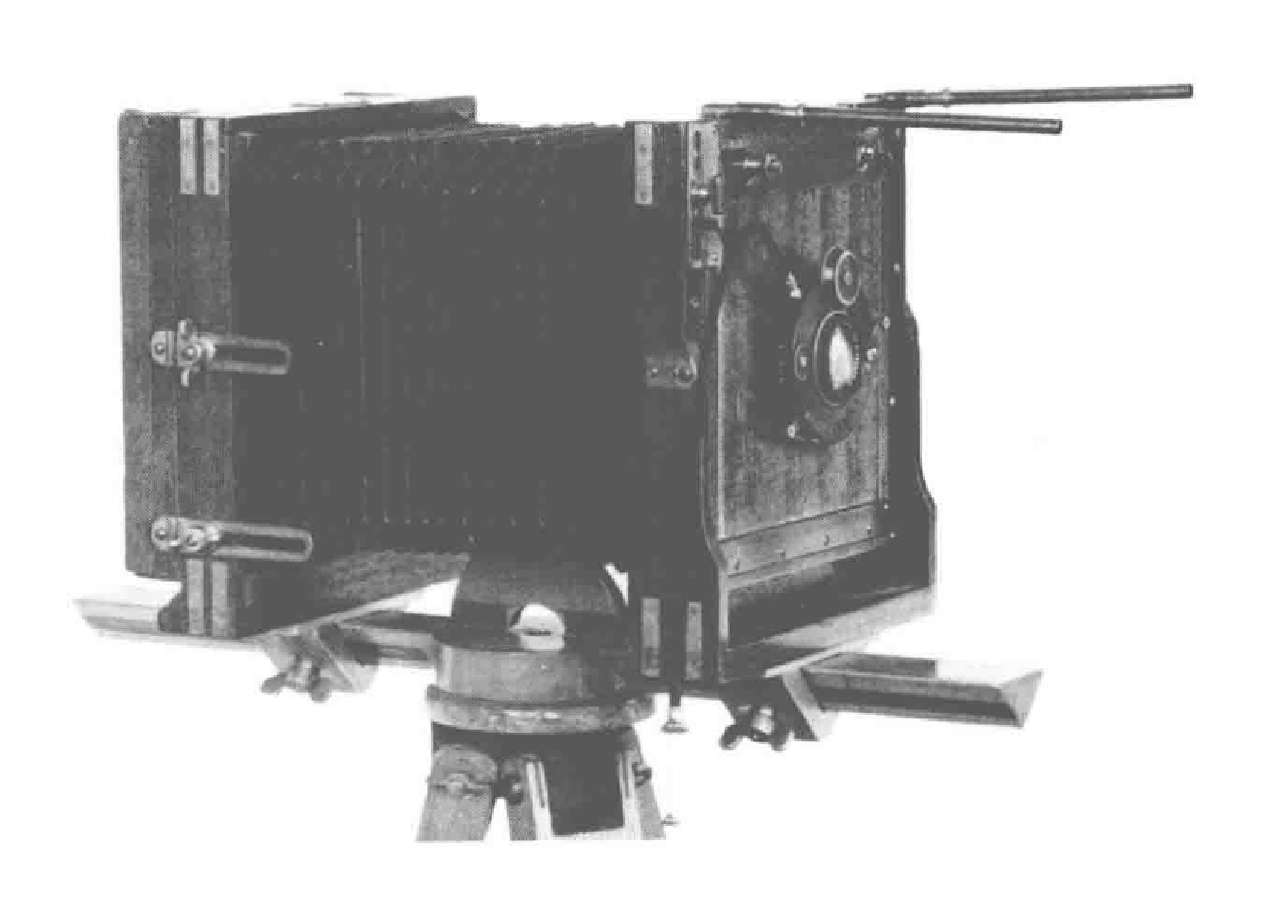


图52.2 屈恩-斯特格曼相机，1925年。

1925—1940 年间，根据奥地利摄影师屈恩（Heinrich Kühn）的设计（图 52.2），柏林的细木工斯特格曼（Stegemann）定做了 9 厘米 ×12 厘米通用摄影室相机。1857 年，佩策尔（J. Petzoal）制成了第一架光具座相机，它用柚木质成，光具座包括一块由金属加固的长 50 厘米的菱形木块。方形皮腔可延伸约 50 厘米，这是对小物体摄影放大的基本条件。

1948 年 9 月以后，由瑞士沙夫豪森（Schaffhausen）公司的科克（Carl Koch）制造的辛纳（Sinar）相机，引进了屈恩 - 斯特格曼相机的特点。不过，它用轻金属取代了所有的木质部件，光具座由一个轻金属管构成（图 52.3）。由于这些附加的装置，多用性也进一步扩大。 1294
除了这种较大型号的设备可以用于电影工业中的静物摄影外，慕尼黑的林霍夫（Linhof）在二战前后制造的德克尼卡（Technika）相机也享有国际声誉。与光具座相机的性能相比，林霍夫相机在多向性和

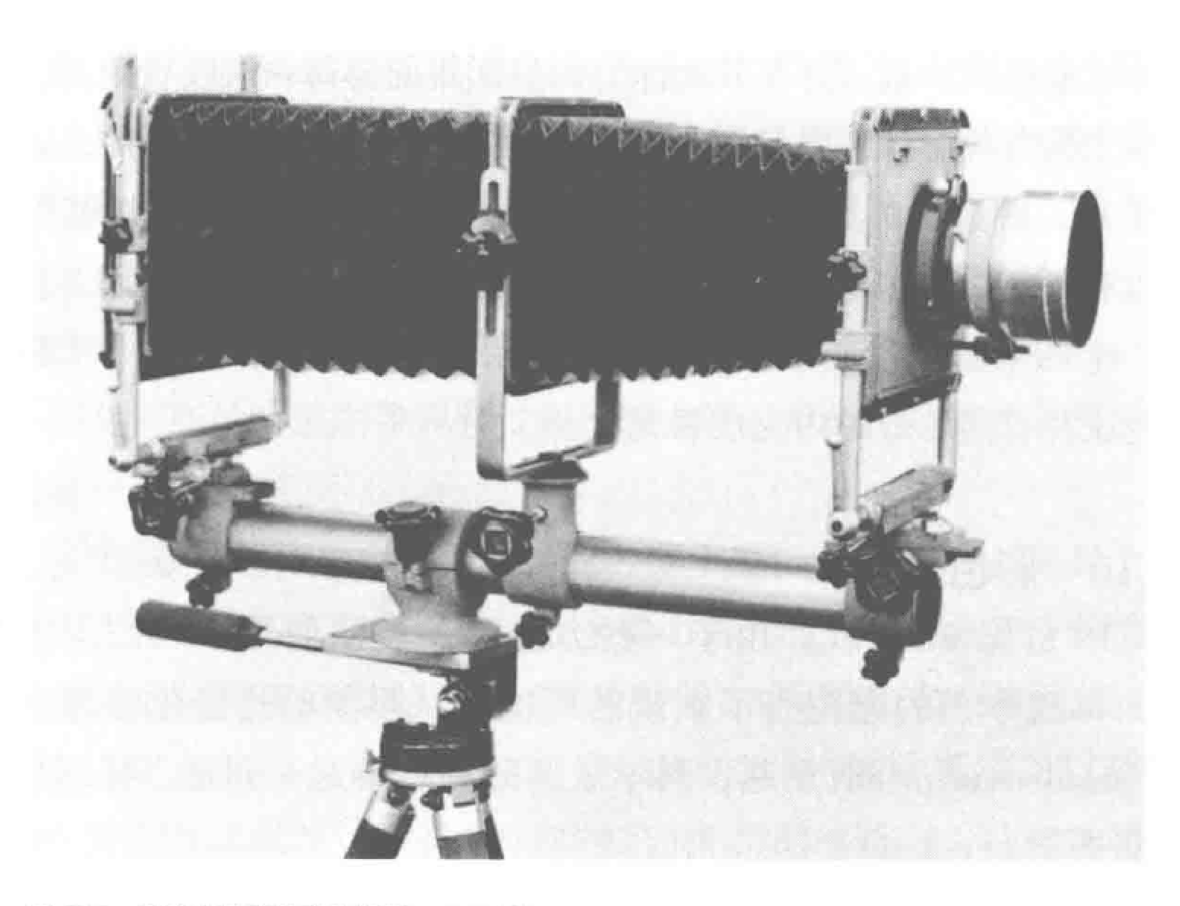


图 52.3 装有光具座的辛纳相机，1948 年。

移动性方面受到更大的限制，这是因为机器上装有限制皮腔延伸的固定靠板和基板。使用广角镜头时，基板可以降低，以免进入图像。光具座上无须采取预防措施，因为相机前后部分都可以用螺钉牢牢固定在它的末端。

52.9 即时成像系统

为满足业余和专业摄影者尽快得到照片的愿望，美国人兰德（Edwin H. Land）在1947年发明了一种特殊的照相机，并在1948年由马萨诸塞州剑桥（Cambridge）的宝丽来·兰德公司（Polaroid Land Corporation）开始生产。这家公司的一种特制胶卷经过60秒内的曝光（后来减少到10秒），便可获得正片。它的拍摄同最初照相复制机的原理是一样的，未曝光和未显影的银盐由负片扩散到正片上，相机中下面的卷轴固定着感光的负片纸，不敏感的正片纸装在上面的卷轴上。当影像在负片纸上曝光后，便通过两个卷轴之间的正片纸。卷轴把正负片纸紧贴到一起，并在其间涂有供显影用的薄薄一层胶状药剂，负片层上的负片影像随之显影，未曝光的银盐同时扩散到正片层，以形成正片，所形成的黑白相片便可取下。这种相机在操作上极其简单。但也有不足之处，那就是只能拍一张，因为负片不能再次使用。1963年，宝丽来公司生产了供这种相机使用的彩色胶片，显影方法相似，彩色正片也是1分钟内完成曝光。

1295

52.10 彩色摄影

19世纪90年代，由于一些方法和器材的使用，人们渴望已久的再现本色的愿望有了实现的可能。从早期的达盖尔银版法照相（daguerreotype）时期起，科学家便开始思索这一问题，特别是美国艾夫斯（Frederic Eugene Ives）的彩色图相机（Kromograms），以通过红、绿和蓝紫色滤色镜反复逆转的方法，从快速连续获得的3张分

离负片复制出透明的照相正片（1893 年）。从 1900 年起，便可通过彩色相机一次性实现——应用彩色观片装置看着色情况，可以说已经是无懈可击。但它却忽略了这样的事实：当时，只有正色的正负片材料是可用的。此外，照相和观片所需的昂贵设备，妨碍了艾夫斯系统的推广。同样道理，艾夫斯在这方面的独创发明也未获得应有的成功，这些发明包括立体彩色照相机和观片装置（1895 年）、投影彩色图像观察仪（1895 年，包括红、绿和蓝紫滤色镜，3 张透明正片通过普通幻灯映射到屏幕上）和衍射彩色显像管（1900 年）。在这个显像管中，每张透明正片上都加有一个不同的衍射光屏幕，每英寸有 2000 条线打出红色，2400 条线打出绿色，2750 条线打出蓝色。随后，3 张正片被准确地印在一起，以形成完全透明和仅由一个带有可变间距衍射光屏组成的最后照片。当这种清晰度在衍射显像管［艾夫斯（Ives）为威斯康星的伍德（R. W. Wood）设计的］中看到时，光波便通过相应的线构成完美的彩照。

事实上，迪科·杜奥伦（Ducos du Hauron）的 35 毫米 ×35 毫米的三色片摄视联合黑底彩色显像管，也未能得到人们青睐（1899 年）。使用这种机器时，通过镜头的入射光线由一面镜子反射回来，随之分成三束光线，又通过同样数量的镜头和滤色片——蓝、紫红和绿——落到感光板上，当从中看到反转的透明片时，便看到彩色的相片。然而，同艾夫斯的彩色图像观察仪相比较，通过这种简易方法获得的结果稍逊一筹。

1296

从 1900 年起，业余摄影者大约占整个摄影者的 90%。显然，要吸引远比专业摄影者有积极性的业余摄影者，着色程序必须十分简单，设备必须方便且价格便宜。通过奥古斯特（Auguste）和吕米埃（Louis Lumière）兄弟提供的彩色照相工序（1907 年），这些要求得以满足。作为电影摄影术的发明者，他们早在 12 年前就已成名，让电影摄影术和电影放映首次同购票观众见面。他们的彩色光屏底片不需要新设

备，只要在现有的相机里装入里昂吕米埃厂生产的彩色底片进行曝光就可以了。

在玻璃底片上，要涂上染有绿、红、蓝三色的极其微小的马铃薯粉粒（小到每平方毫米8000—9000粒），再将全色乳胶薄胶片置于其上（实际上这一发明在1904年便已完成，但真正得以利用还是全色胶片问世之后）。曝光是经过底片的玻璃一侧完成的，也就是通过作为滤色片的彩色颗粒基底完成的。显影后，底片重新曝光和再次显影（反转过程），由原色微粒组成的透明底片进而产生混合彩色效果，就像分色主义画家的绘画一般。虽然生产了各种标准规格的彩色底片，但在观看彩色照片的快慰中也有一些不足之处，因为曝光所需时间大约是黑白片的40倍，照片还有一些半透明，这是由淀粉粒光屏所致。然而，不管怎么说，在第一次世界大战前采用的几种增减色彩的方法中，吕米埃程序最简单并最受欢迎。1913年，里昂的吕米埃厂日产6000张微粒彩屏干板。著名的颓废派画家和许多业余画家，均创作了人物肖像和风景画。这从霍姆（Charles Holme）的先期作品《彩色摄影及相机艺术的最新发展》（*Colour photography and other recent developments of the art of the camera*）中可以见到（伦敦，1908年）。

1935年以前所采用的较知名的彩色摄影程序，可以分为不同的两个组。在概述这些程序之前，有必要先解释一下本文提到的“增”与“减”的概念。在增混合彩色法（综合法）中，光线需要加强。当全部光谱被传送过去时，所获结果便是白光。在减混合彩色法（分析法）中，彩色滤光片上的颜色便吸收或从光中去除所有的颜色，除了它们反射的自己的颜色。当所有的光谱均被吸收，也就是说全部光谱都被抑制住时，结果便是黑色。

1297

加色程序包括吕米埃·奥托克彩屏干板（1907年），迪费折光彩屏底片由迪费（Louis D. Dufay）采用（1908年），阿克发（Agfa）彩屏

干板（1916 年）作为阿克发彩色胶卷形式被采用（1932），芬利（C. L. Finlay）采用芬利光屏干板（1929 年）。

减色程序全部以生产三种色彩分离的负片及补足负片色彩的彩色正片组合为基础，例如桑格 - 谢泼德（Sanger-Shephard，1900 年），由凯尼格（Ernst Koenig）采用的品那太皮（Pinatypie，1904 年），由特劳贝采用的尤沃克洛姆（Uvachrom，1916 年），赫尔措格（Herzog，1929 年）采用的杜克瑟克洛姆（Duxochrom），影印三色碳溴法（1930 年），斯宾塞（D. C. Spencer）在 1932 年采用的维弗克斯彩色（Vivex Colour），以及柯达冲洗调剂（Kodak Wash-off relief，1934 年）。

直到第二次世界大战时，一些减色摄影程序还用于幻灯片的制作或彩色片的复制，对彩色摄影的主要需求来自广告公司、美术馆和重要工业企业。由于费用昂贵和彩色复制常常水平不高，这一行业只由少数专家所把持，面向极其有限的市场。一般来说，他们只是使用一次完成的彩色摄影机，例如伯姆普尔（Bermpohl）（1934 年）、约斯・佩（Jos Pé，1924 年）或带有重复背景的摄影机，来生产 3 个分离负片。这样获得的放大的彩照或幻灯片，由可以承担这种高度专门化工作的极少数实验室生产。

20 世纪 30 年代中期，两个最大的生产摄影材料的厂家几乎同时推出了减色彩色胶卷，原理与使用多层胶片加染色填充剂一样。1911 年，德国化学家费歇尔（Rudolf Fischer）发明了染色填充剂，为目前使用的所有彩色胶卷的生产打下了基础。将三层乳剂涂在底片托上，每层乳剂只对一种颜色敏感，最上一层乳剂对蓝光敏感，中间一层对绿光敏感，底层对红光敏感。显影后，每层中残留的溴化银又再次曝光，并且在所谓的填充显影剂中单独显影，填充显影剂使得预定色彩的染料沉积在所有溴化银变为银的地方。在两位美国音乐家戈多夫斯基（Leopold Godowsky）和曼内斯（Leopold Mannes）设计的柯达彩色胶卷中（1935 年），每层都采用不同的填充显影剂。在正片

的银影被溶解之后，便可得到一张保留黄色、绛红色和青绿色的减色照片。

1298

1936年，维尔曼斯（Gustav Wilmanns）改进了的新阿克发胶片的生产，在3个乳剂层里加入了3个填充成分。负片显影和银影像脱色后，反转的正片图像便由单独合成彩色显影剂完成，并达到减色要求。

随着柯达和阿克发彩色片的出现，适用于投影和复制的胶片幻灯片应运而生。尽管由于要吸收大量的光，彩色照片总的来说不如幻灯片好，摄影师特别是业余摄影者们还是乐于拍摄这样的照片。与透明正片相比，单色照片也同样适用。阿克发试图通过研制阿克发彩色正负片程序来解决这一问题，但由于战争的干扰，这种胶片直到1949年才问世。1942年，柯达研制成了柯达彩色负-正胶片，程序的第一部分同上述阿克发彩色胶片的程序类似。然而，此时不是把负片转变为正片，而是得到负染色的互补色图像，并将这一图像印制在涂有与原负片相类似的乳化剂层的纸上。经过同样的处理后，便获得了保持原色的正片彩照。

1950年以后，世界许多地区的主要生产厂家采用各自的商标，将彩色胶片投入国际市场。他们或多或少都使用了阿克发彩色胶片公司1937年的专利，因为这一专利作为敌人的发明，战后已为同盟国所享用。只有美国、英国和日本厂商，在柯达彩色胶片原理的基础上制成了彩色胶卷。还有一个例外，那就是1963年问世的宝丽来（Polaroid）彩色胶卷。

与后来的标准相比，战前彩色胶卷的感光速度十分缓慢（8 DIN）且昂贵，导致销售量比较小。彩色摄影的普及始于1960年左右的经济发展和繁荣时期，当时生产彩色胶卷的实际困难都已解决。在工业发达的国家，一大批冲印公司建立起来，彩色胶卷的感光速度是头十年的4倍，冲印成本和价格大幅下降。于是，十有八九的业余摄

影者从使用单色胶卷改为使用彩色胶卷，柯达彩色胶卷则最受欢迎。在其他发达国家中，联邦德国使用彩色胶卷的数字可能很有代表性，底片总量从1969年的3.8亿张增长到1976年的20亿张。

52.11 放射学

1299

维尔茨堡大学的伦琴（Whihelm Konrad von Röntgen）在1895年11月发现的“一种新射线”，要算是那个时代最伟大的发现之一。伦琴射线或盎格鲁-撒克逊国家所说的X射线对医学（第54章）的重要作用，只是在20世纪头20年才开始为人们所认识，这就是推迟到这一卷才提及它的原因。

早在1896年，一位维也纳医生便用X射线探查了胆结石，同年3月初在伦敦皇家自由医院查出一位妇女手指里的一节断针。但是，采用射线照相检查骨折和异物在体内的位置，没有立即得到普及，主要是因为射线有害，经常和长时间接触X光能引起皮炎，再加上缺

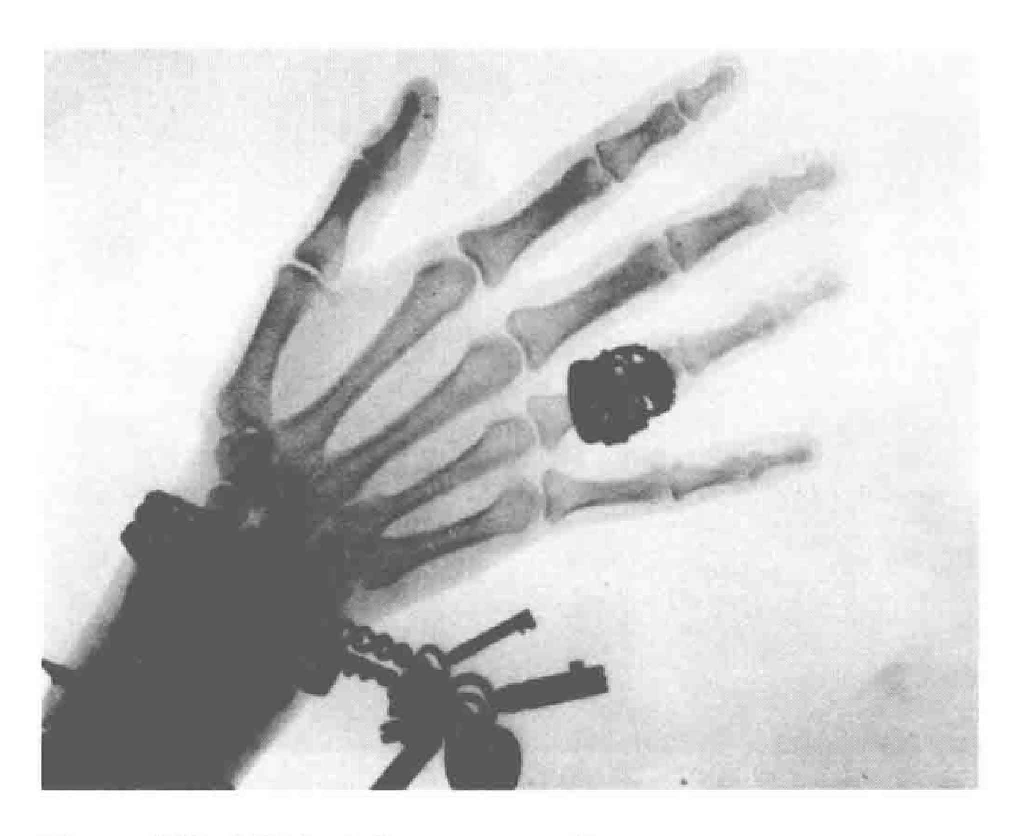


图52.4 早期一只手的X光片，1896—1897年。

乏安全设备，没有训练有素的放射学家。

伦琴射线是在用克鲁克斯(William Crookes)发明的一种真空管做实验时偶然被发现的。这只真空管中充上氖气，便能产生众所周知的霓虹光。由于高压放电通过这只管子产生的射线能被看到，伦琴便根据射线对摄影干板的影响去研究它的作用。他还发现X射线具有涂写某些物质的性能，例如钨酸钙和氰亚铂酸钡(一种荧光剂)。如果将一只手或一只小钱包置于涂了上述物质的屏幕和这种真空管之间，那么手骨或包里的硬币等较密集的部分便在灰色的背景中显出黑影(图52.4)。

X射线对所有物质都具有一定的穿透力，但对铅的穿透力最小。因此，人们用铅来做防护罩。除了外科和放射疗法，X射线还用于金属内部裂缝的探查、古画的鉴定以及牙科和结晶学。在20世纪30年代，一些较好的鞋店都有一个或多个X射线箱，顾客们可以通过这



图52.5 一张1904年的早期新闻照片。国王爱德华七世(King Edward VII)和皇后亚历山德拉(Queen Alexandra)在皇家公园举行的皇家农业展览会上。

个箱子检查鞋子是否合脚。然而，经常这样检查潜藏着危害，第二次世界大战以后，这种装置又被废除了。

X 射线无法很容易地聚焦，在摄影乳胶片上产生的图像不过是物体的虚影。目前，射线照相不再在暗室里进行。特制的低感光度强反差胶卷装在防光的外壳中，放在被摄物体的后面，胶片一侧面对真空管。它的显影和定影与普通摄影相同，为了缩短曝光时间采用了增光屏。装有真空管的设备，用铅板把操作员和患者同有害的辐射隔开，只留一个释放光束的小窗。

参考书目

Gernsheim, H. and Gernsheim, A. *The history of photography.* Oxford University Press, London (1955).
——. *A concise history of photography.* Thames and Hudson. 1965.

第53章 电影摄影术

戴维·B. 托马斯（DAVID B. THOMAS）
约翰·P. 沃德（JOHN P. WARD）

53.1 电影技术的发展

1302

20世纪上半叶是电影行业从鲜为人知的新奇事物发展为重要的传达信息手段的时期。1900年，电影摄影术刚发明不久（第V卷，第30章第2篇），电影院还没有出现，电影只能作为音乐会、集市上的穿插节目进行放映，或者作为一个营业项目在商店专设的房间里放映。电影工业的成长与艺术和摄影技术的发展是联系在一起的。

1905年以后，这种可以叙事的传达信息手段开始为人们所欢迎，电影工业也以雨后春笋之势发展起来。大约就在那个时期，“5分钱门票电影院”首次在美国出现，伦敦则建成了专门放电影的第一家电影院。几年之内，随着美国工业日益占据优势，数千家电影院相继开业，电影工业也一跃而成为大行业。第一次世界大战之初，英国拥有大约3500座电影院，但几乎所有影院的规模都很小。

20世纪第二个十年，题材广泛的长片、好片在剧烈的竞争中纷纷出现。在战前，电影观众主要来自工人阶层，现在则各类人都有，几乎人人都去看电影。随着制片人的出现，这种交流手段发展到新的高度。他们通过精巧的编辑、剪辑和合成，开发了电影技术艺术潜力。这些新革新人物中，导演格里菲思（D. W. Griffiths）堪称佼佼者。那时的摄影机不再固定在三脚架上，可以灵活移动来摄取镜前的动作姿态。

观众开始支持有个性的演员，影星制也严格地建立起来。

20 世纪 20 年代，电影院几乎成了工业化国家每个城镇的特色。20 年代末，有声电影的出现进一步刺激了票房收入。电影工业——尤其是在好莱坞——获得了自信并具备了专门技能，从而产生了表现时代特征并供人消遣的娱乐活动。介于两次世界大战之间建立起来的电影院规模很大，内部装修豪华，铺着厚地毯。即使处于经济萧条时期，电影工业也未曾受到严峻现实的影响。

1303

20 世纪 40 年代，电视在美国兴起，发展速度甚至超过了 30 年前出现的电影。这种状况表明电影的普及已达极限，它吸引观众的优势地位将开始受到另一项新兴技术的挑战。1946 年是英国电影业的鼎盛时期，营业影院约有 5000 个，座位多达 430 万。那一年，售票达 16.35 亿张，平均每个成人和小孩看电影约 35 次[1]。来自电视的竞争激发电影业进行了多项技术革新，其中包括宽银幕和立体影片的摄制。在美国，战后时期的特点之一就是出现了可以坐在车内观看的露天电影。1945—1954 年的 10 年间，大约有 4000 家露天电影院开业，有些可容纳 1000 多辆小卧车，电影屏幕的宽度为 120 英尺[2]。然而，到了 20 世纪 50 年代，电影业很明显地开始走下坡路。

53.2 电影胶片

在一般的电影院中，电影胶片上的影像投射到屏幕上时大约要放大 350 倍。摄影设备的任何缺陷，胶片粒子过大或摄影机不精确，都会使屏幕图像出现裂纹、抖动和剐痕。电影胶片以及摄制、放映设备的生产，都必须严格而精确地进行。

20 世纪初所使用的胶片规格繁多，居支配地位的是爱迪生 35 毫米胶片，每幅画面有 4 个孔眼，到胶片末尾共有 16 幅画面。这种为多数专业人员使用了整整半个世纪的规格精确的尺度，是在 1909 年的一次国际会议上统一的。出于费用和体积方面节省的考虑，一些更

窄的胶片也被采用，主要出售给业余摄影者使用。这些窄规格的胶片中，使用起来最成功的是 1923 年伊斯曼·柯达（Eastman Kodak）所研制的 16 毫米安全反转片。几乎与此同时，帕特（Pathé）也推出了一种为业余爱好者使用的、规格为 9.5 毫米的胶片。1932 年，伊斯曼·柯达又推出了 8 毫米的胶片。

直到 20 世纪 20 年代中期，使用的胶片还只能对蓝光敏感，黑白色调还不协调，但能产生清晰、鲜明和高对比度的影像。1919 年开始生产、1925 年以后才大量应用的全色胶卷，获得了更柔和的色调层次。随着有声电影的出现，全色胶片为光声道的印制提供了基础。20 世纪 30 年代，新感光染料的发现提高了全色胶片的速度，乳剂制造技术的改进则使生产的胶片具有更小的颗粒，不易褪色。 1304

实际上，在 1900—1950 年的整个时期，硝酸纤维素一直被用作专业电影胶片的基本成分。这种材料极易燃烧，不适合业余者使用，用于业余电影胶片的软片基是不易燃的醋酸纤维素。

53.3 电影制片厂

在初期阶段，电影拍摄是在室外或“温室”式的摄影棚里进行的，靠太阳光照明，有时需要借助反射镜加强光线。随着技术的进步，人造光源——通常来自封闭式的弧光灯——越来越多地被采用。电影胶片对光谱中的红光感光度低，从而限制了白炽钨丝灯的应用。20 世纪 20 年代中期出现的全色胶片，为大规模普及白炽灯泡设备提供了条件。声音的录制需要无声的光源（早期的电弧灯产生噪声），这又刺激了白炽光源应用的日益增加。然而，随着碳精电弧光源的改进，电弧光源又重新在电影制片厂得到应用，特别是在 20 世纪 30 年代中期和后期拍摄彩色影片的时候。白炽灯用于彩色摄影时，需要使用彩色滤色片。录音技术的使用，还意味着电影摄影棚必须全部密封在大型的、类似仓库的隔音设备中。这种隔音设备被人们称 1305



图 53.1（a） 在固定构架上冲印胶片，约 1910 年。

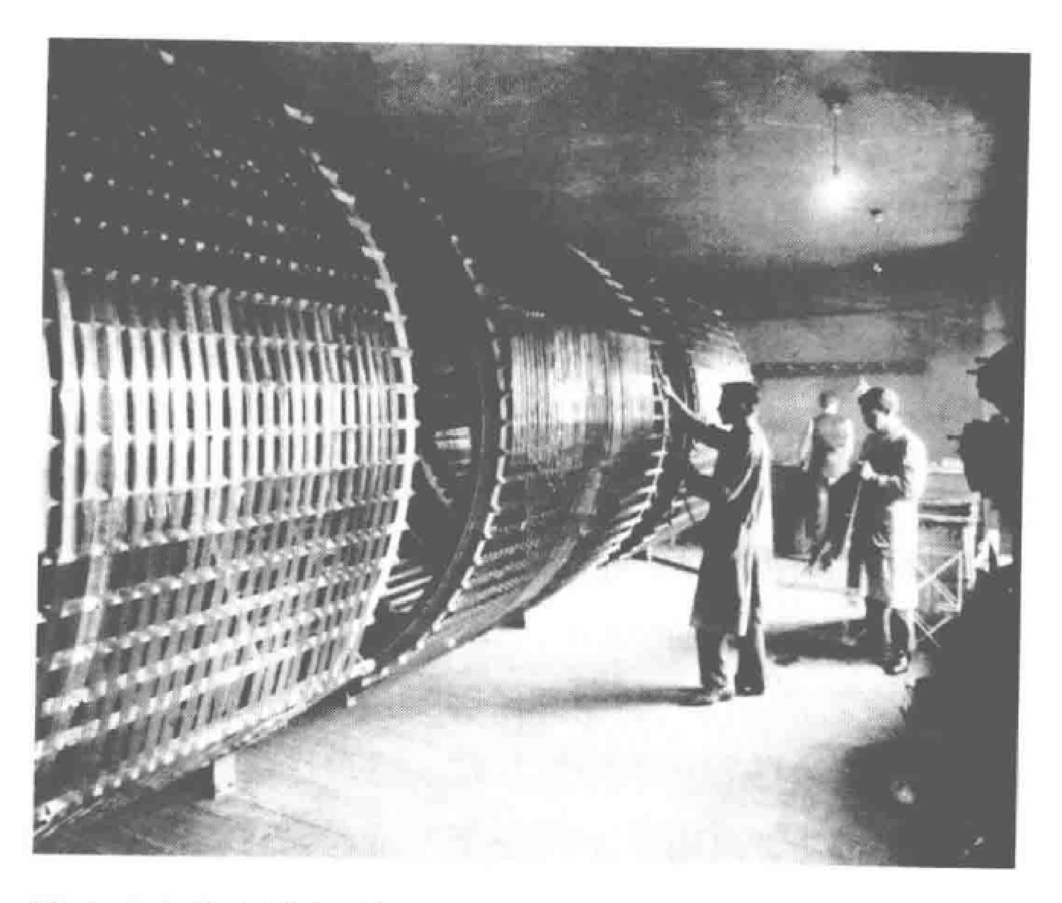


图 53.1（b） 胶片干燥室，约 1910 年。

为“音响舞台”，安装的巨大拉门足以将布景墙完整地放进去。紧挨着音响舞台的是辅助建筑，包括备用品仓库、工作间、放映室、办公室，有时还有实验室(图 53.1)。

随着时间的推移，用于拍摄故事片的摄影机在复杂性和精密程度方面有所提高，但基本的间歇传输装置——摄像机的心脏——大体上还保持着原样。最早的摄像机采用了很多种独特的间歇装置，不过由于爪型结构广受欢迎，后来被所有的摄影机采用，其他装置未能发展起来。另一方面，使用 35 毫米胶片放映机是借助“马尔他十字架”(Maltese cross)和凸轮带动链轮间歇地推进电影胶片的。许多年来，35 毫米标准放映机照明设备一直是碳弧灯。

53.4 彩色电影摄影

电影院问世不久，彩色电影便在 1896 年搬上了银幕。它的胶片是手工染色的，在银幕上最多能持续几分钟。只能在影片比较短、拷贝数量不多的情况下，手工着色才切实可行。等到了 1907 年，影片已经很长，电影院的数量也多了起来。这时，弗雷赖斯(Pathé Fréres)发明了一种胶片着色的方法，用机制模板进行机械着色，一直使用到 20 世纪 20 年代。调色和染色方法也用于银幕上，火景一般染红色，夜景则染蓝色。

1306

1909 年，在伦敦首次放映了天然色的电影，所使用的工序是史密斯(George Albert Smith)开发的双色添加法。在一架专门改进的装有红、绿滤色片旋转圆盘的摄影机里，黑白胶片的曝光速度比通常快一倍，显过影的负片由红、绿相互交错的画面组成(图 53.2)。在电影院里，通过几片类似的滤光镜，以正常速度的两倍放映处理过的黑白正片。人的眼睛将快速交替的红绿图像结合起来，从而使这种双色作用在视觉上成为宽色域的图像。因为这些，彩色电影的商业价值得以持续了若干年，在许多国家均可见到以这种工序生产的电影

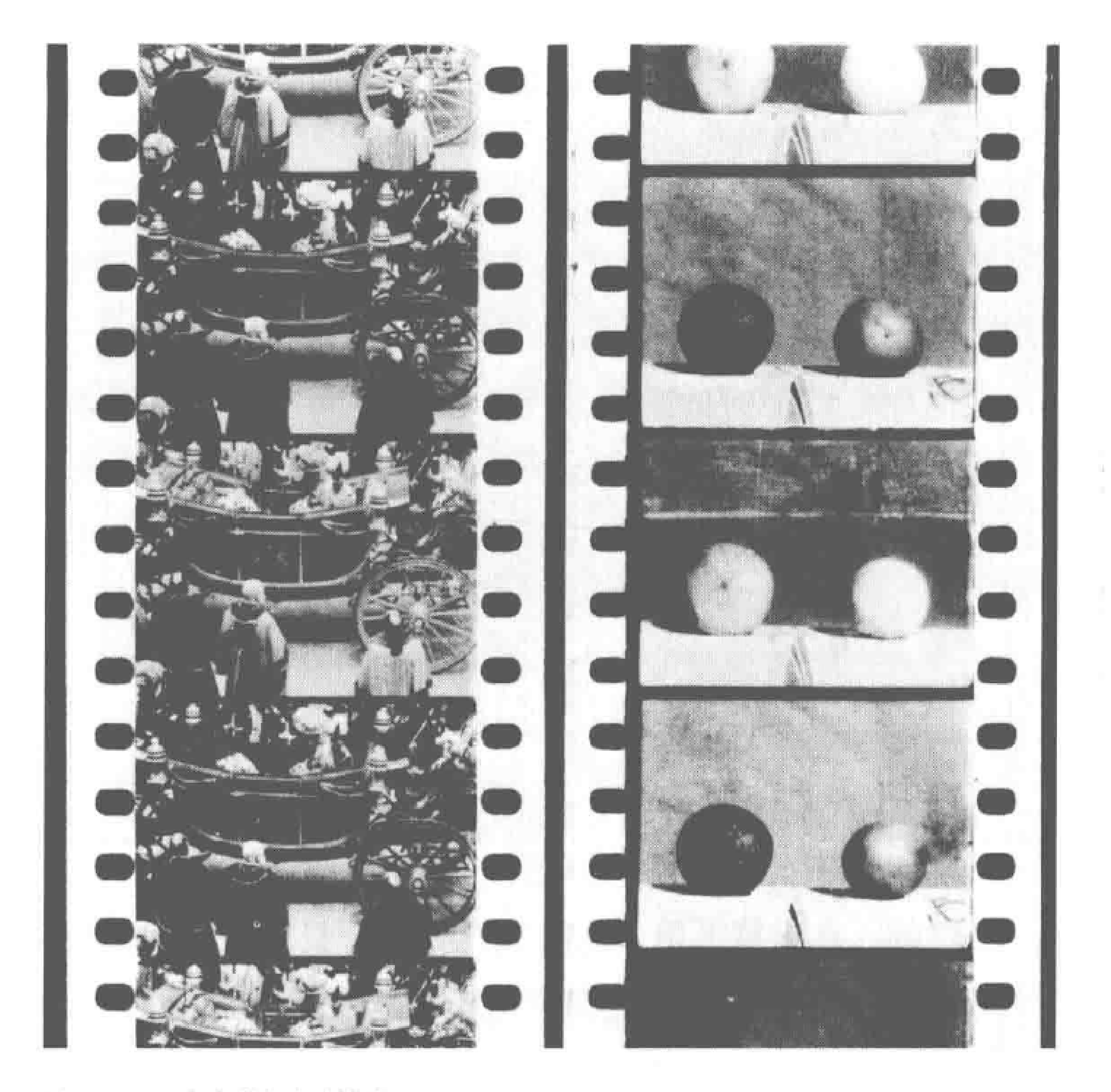


图 53.2 35 毫米彩色胶片样品。

胶片，其中最成功的是 1911 年片长 2.5 小时的《德里杜尔巴》(*Delhi Durbar*)。但是，用这种工序制成的几部故事片并不理想。它的不足之处在于，由于双色印制不是同时进行的，所以放映时屏幕上出现的运动物体总是被一圈彩色重影包围着。如同所有的加色工序一样，这种工序也需要一个特制反射镜。第一次世界大战期间，这一工序已停止使用[3]。

1920 年以后出现的成功彩色胶片加工工序是减色法，彩色图像是胶片本身所具有的，从而取代了由彩色滤色片产生颜色的旧方法。这种工序的长处是使用一定的反射镜，按正常速度可将图像映出，不需要修正手段。早期的双色减色影片工序使用的是双层胶片膜，也就

是说前后都敷上感光材料，胶片上便有了红色和蓝绿色两种颜色的影像，颜色分别附着在底片的两面。大约在20世纪20年代到50年代的30年间，这种方法应用过几次，有的相当成功，但都不曾取得天然色的效果，因而多为彩色印片法所取代。

彩色印片电影公司（Technicolor Motion Picture Corporation）始于1915年，直到1930年都使用双色系统[4]。最初，彩色印制是将两张薄的正片背对背地合在一起来完成的，胶片的每一面都有一个由媒染工序完成的彩色图像。为了避免在放映过程中出现彩色重影现象，研制出了一种摄影机，能够在机内将光束分解成两部分而同时获得红色和蓝绿色。然而，使得彩色印片法成为家喻户晓的“比生活更亮丽”的彩色效果，还得归功于这家公司30年代推出的三色工序。使用这种工序，3种颜色（红、蓝、绿）可在特制的摄影机内通过光束分解在3个分开的胶片上（图53.3）。光在通过镜头后被一个半透镜面分为两部分，镜面的反射光便在双重胶片上形成一个图像。这个双

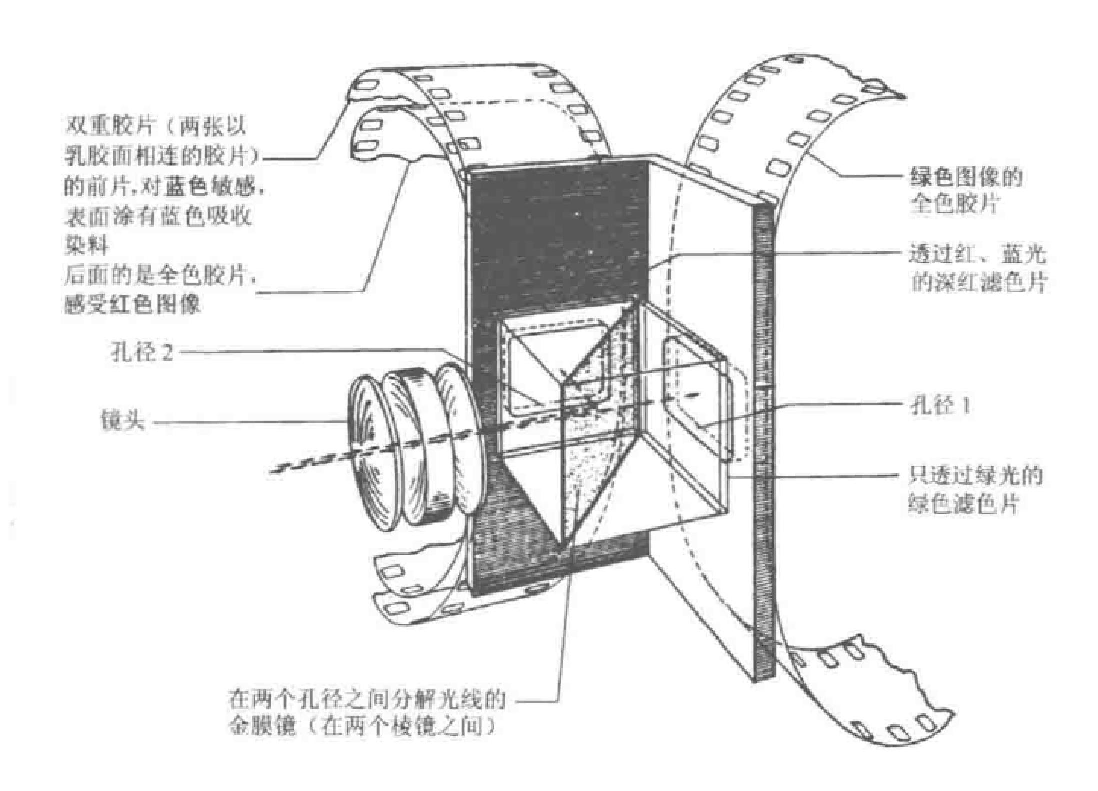


图53.3 3片胶片彩印光束分解摄影机。

重胶片的前胶膜只对蓝光敏感（只产生蓝色效果），后胶膜是全色的，1308 产生红色效果，透过镜面的光在经过绿色滤色片后，产生绿色效果。1932 年，首批这种摄影机制成，并且一直应用到 1950 年。

负片的三色效果在摄影机中通过分光得以解决后，下一步是要解决从中获得三色正片硬化乳胶凸版印制的问题，以便将三色负片染成黄、青绿或绛红色。这 3 组影像作为原色，染料通过吸收印刷法传到空白胶片上。这在某种程度上与书籍或杂志插图的彩色印制相似，所不同的是在彩色印片法中，最后的影像尚须放大几百倍。为了达到这一目的，制造出这类十分精确的设备还需要进行许多研究工作。

1932 年，彩色印相染料转印三色工序首次应用于迪斯尼（Walt Disney）的动画片。后来，许多其他迪斯尼动画片也相继采用。第一部大型彩色印片电影是《浮华世界》(*Becky Sharp*，1935 年）。一些最成功的电影，包括《绿野仙踪》(*The Wizard of Oz*，1938 年）、《四根 1309 羽毛》(*The Four Feather*，1939 年）和第二次世界大战前制作的最长而又最令人难忘的《飘》(*Gone with the Wind*，1939 年），都应用了这种工序。

20 世纪 30 年代末出现的多层集成的三底色（也叫单面胶膜）彩色胶片，提供了一个用一般电影摄影机取代大型粗糙的分光摄影机的机会，摄影可以在一个胶片——例如柯达胶片——上获得 3 种颜色。3 组正色分离出的原色，则可以通过滤色片的光学印制从这个负片获得。早在 1942 年，这种方法就用于彩色电影的生产。不过，第一部用三底彩色片制作的标准长度的彩色电影还属《弗利卡之子》(*Son of Flicker*，1948 年）。到 1950 年，彩色分光摄影机停止使用。

1935 年以后彩色印片法的成功，一部分是由于它的方便和价廉，可在大量的空白材料上制成彩色胶片，另一部分是因为三色工序能够使生产过程得到更多的控制，从而取得高质量的彩色产品。

53.5 电影中的音响

有声电影的概念应当从电影摄影术问世时开始。但是，有声系统的出现则是30多年后的20世纪20年代末的事。在交替时期（图53.4），许多有前途的尝试之所以失败，部分原因是制片人态度冷淡，他们仍然制作出非常成功的无声电影，认为没有理由改变原有的方法。当然，这也反映了有关技术的不成熟。有声片的演进是新技术发展的经典范例，它只有在表面上看来毫不相关的领域取得科技进步，才有可能获得成功，并且同留声机、光电管和热离子管的发展密切相关。电影有声系统就是在与巨大的无线电和电信工业结合后发展起来的，并且因此受益。

在有声胶片的早期实验阶段，实际系统的生产分成两个不同的领域进行。看上去，最立竿见影的方法是利用电影摄影机和放映机，并使它们与留声机同步。在胶片上通过摄影手段复制声音，则是一个更复杂的问题。

把留声机和电影机结合起来的想法，前人就曾有过，其中包括爱

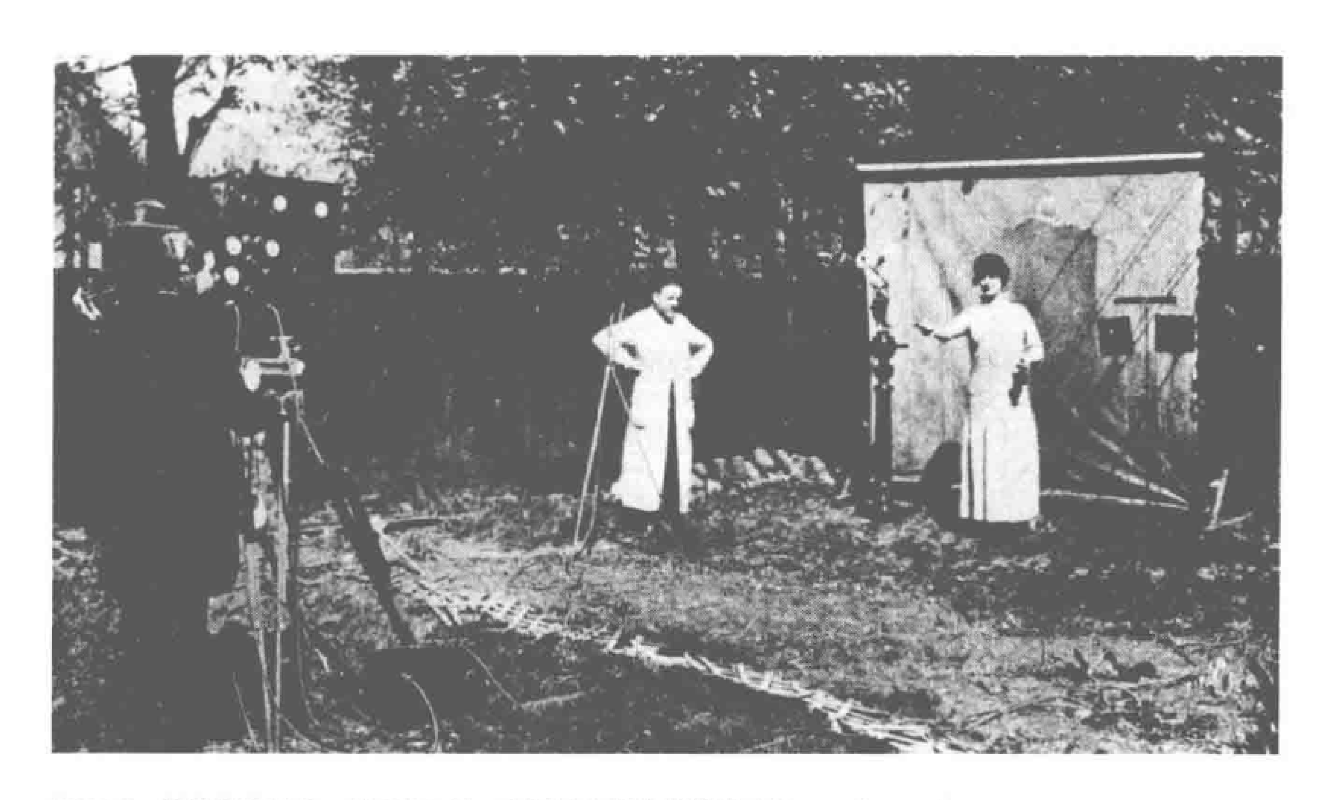


图 53.4 拍摄有声影片，约1910年。中间站立者为劳斯特（Eugene Lauste）。

1310 迪生（第V卷，边码743）。虽然迪克森（Dickson）早在1889年就获得了第一个有声电影明星的桂冠的说法值得怀疑，可他同爱迪生一起在19世纪90年代后期将留声机和活动电影放映机结合起来，并至少生产了50部有声“西洋景”则不容置疑。1902年，戈蒙（Léon Gaumont）在德梅尼（M. G. Demeny）工作的基础上，首次进行了同步有声电影实验的公开放映。后来，在英国和美国也进行了同样的演示。那是1914年前夕的事[5]，使用的是一些类似唱片的系统。然而，这些工作在商业上的成功是有限而短暂的。第一次世界大战后，人们对有声电影的兴趣得以复苏，动力来自于电器录音和扩音的前景。1925年，新组建的美国维太风有声电影公司（Vitaphone Company of the U.S.A.）生产了反转无声影片《富安先生》(*Don Fuan*)，在业内留下了深刻印象。它虽然没有话语的声音，乐曲伴音却能从直径为16英寸、每分钟转动33 $\frac{1}{3}$转的单面留声唱片传送出来，每张唱片录入了可供一盘电影胶片的音响。有声电影公司受到充分的激励，上映了第一部有声影片《爵士歌手》(*Fazz Singer*)，这部电影从有声电影诞生之日起就开始酝酿了。这确实是一场赌博，因为当1927年10月声音能在电影放映过程中播放出来时，只有100家电影院安装了音响设备。然而，《法兹·辛格》引起了业界和公众的关注，并作为开创有声电影时代的影片而普遍为人们所接受。

在胶片上录制声音经历了一段漫长的历史。从某种意义上说，它早于电影院的出现。构成这段历史的各类设计的发展逐渐汇集在一起，归结为转换声波，通过话筒将声音变为可变的光信号，于是便产生了感光图像。为上述工艺提供可能的许多系统均得到了发展，显影和印制后所获得的全部图像，它们声迹中的图像密度可变，或者出现连续的、宽度不等的密集锯齿形痕迹。在密度、面积可变的情况下，声音是由投射一道窄光束穿过胶片声迹而重现的（图53.5）。胶片移动时，

透过的光线强度迅速而连续地变化。通过光电管的作用，光转变为电流，经过放大来驱动扬声器。

胶片制声初期的一些重要工作是由吕默（Ernst Rühmer）完成的，并在1901年被首次进行报道。他的“摄影留声机”曾被比作有声摄影机[6]。尽管他的系统不曾创造商业价值，但他制成了声迹面积可变的胶片，后来成了美国福克斯胶片公司所采用的样板。

1312

劳斯特（Eugene A. Lauste）可能是第一个提出把声迹和图像置于同一胶片的人。劳斯特最初为爱迪生做事，1904年移居英国。1907年以前，他已经在同时摄制声音和图像（每幅图像占胶片的一半）方面获得了成功。虽然他的演示在大西洋两岸都令人满意，在商业价值上却一筹莫展。第一次世界大战爆发时，他偃旗息鼓了。1918年，德国三尔刚（Tri-Ergon）小组开始用可变强度光调制器进行录音，用光电管进行再现，从而发展了可变密度系统。这个小组虽然演示了

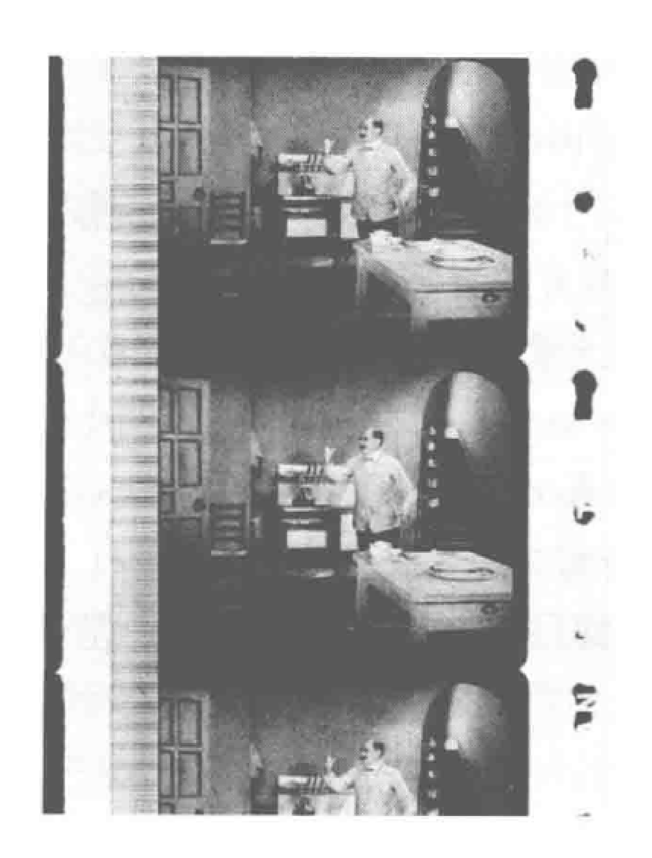


图53.5（a） 西方电气公司制成的早期有声电影，展现了密度可变的声迹。

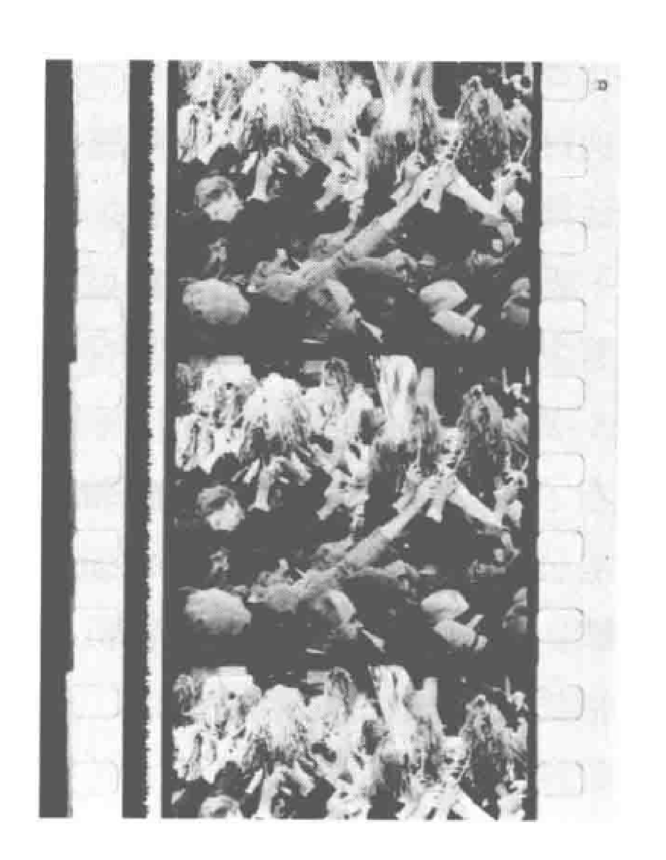


图53.5（b） 美国无线电公司生产的有声电影，展示了面积可变的声迹。

一套实用的系统，但要想保证整个动态范围内录制和重放的声音不失真，却遇到了不可克服的技术难关，因为当时使用的设备相当原始。1926年，三尔刚设备运到了美国。一年以后，威廉·福克斯（William Fox）获得了美国优惠权，购买了“辉光管的股份”。辉光管是凯斯（T. W. Case）研制的一种辉光放电调制管，后来用于福克斯有声新闻影片[7]。凯斯则同热离子三极管的发明人德福雷斯特（Lee de Forest）密切合作，并向他提供光电管和早期的录音摄影机。德福雷斯特声称，自己早在1900年便产生了有声电影的设想。虽然着手这一工作是很久以后的事，但他确实设计了可变密度录音系统，并使用了名为“充气放电二极管（Photion）”的辉光放电调制器。到1926年，德福雷斯特的“有声影片”（Phonofilm）已经在50多个电影院进行了演示，这个系统成了“有声电影”（Movietone）的基础[8]。更进一步的胶片制声系统由西方电气公司（Western Electric）研制成功，尽管他们的兴趣在于用唱片录放音的有声电影系统，但研制的光阀可取代辉光放电调制器而用于可变密度的录音。在这种光电子管中，光线通过狭缝投射到胶片上，狭缝由两个细小的金属片构成，金属片受到话筒电流感应的磁场而共振。1928年制作《演艺船》（*Showboat*）时这一系统得到应用。在以后的可变密度胶片的制声过程中，这种光电子管发挥了辉光管的作用。同年，美国无线电公司 - 韦斯汀豪斯（R. C. A.-Westinghouse）和通用电气公司（General Electric Company）共同发布了他们的可变面积有声系统。1928年6月17日，带有“美国无线电公司光音机”音响的第一部电影《完美犯罪》（*The Perfect Crime*）上映。美国无线电公司的光音机一部分源自劳斯特的早期工作，一部分借助1921年由霍克西（C. A. Hoxie）完成的装有镜式电流计的光音记录器“Pallophototone”。

1313

20世纪20年代末，尽管业界还有保留看法，有声电影却已经很快为人们所接受和认同。事实上，早在1929年3月，福克斯便停止

了无声影片的生产。1930 年初，只有美国的 8700 多家电影院装备了有声设备，到了当年年底竟上升到 1.35 万家。好莱坞生产的电影片中，95%是有声的。1931 年，电影艺术和科学学会声称已经对大约 900 名雇员进行了有声方面的培训[9]。由于使用了唱片、可变面积和可变密度胶片制声系统，电影拷贝的生产获得了成功。接下来，暂时的困难是电影院的放映设备问题。虽然有声电影公司对唱片录音的前景持乐观态度，但是胶片制声已经越来越显示出前途，起初推广的有声电影系统已经成了技术的死胡同之一。同时，可变面积和可变密度系统则继续并肩发展。标准化的不足给电影业带来的不便是微不足道的，因为能够接收两种声道的设备很快就问世了。

音响的采用引起了技术革命，并在电影业的技术方面引起了一场革新。一位录音工程师发现，研制话筒挡板、滤声器、风塞、定向装置和自由伸缩话筒等势在必行，他不得不学习混声、翻录和录音复制的工艺。新工艺需要使电影的图像和声音同步，解决办法是使用早期有声电影用过的简单音像对号板装置，问题是如何清除多余的声音。研制一种在工作时没有声响的摄影机看来是困难的，较短时间里采用的方法是将摄影机和操作人员关闭在装有轮子的隔音小间或专座上（图 53.6）。在许多情况下，上述办法是行不通的。所以，通常是为摄影机加上隔音包装或袋子，也就是所谓的“防音罩”，如今有时仍要采取这种办法。当时，还采用了带橡胶轮胎的、用电池供电的电影摄影机移动车，它便于迅速而毫无声响地变换摄影机的角度。

有声电影的出现标志着专业手动摄影机和放映机使命的结束。名义上，无声电影的拍摄和放映都以同一速度进行，即每秒钟 16 幅画面或每分钟移动胶片 60 英尺。实际上，经过数年的改进，放映速度已经达到每分钟 85 英尺。这样做的目的，既是为了减少图像的摇曳闪烁，也是为了满足每天能够多放几场的商业动机，也可能正如一位作家所说是为了“刺激”一下这个行业。不管怎样，已经使观众适应



图 53.6 电影音响舞台，约 1928 年。

了这种稍欠自然的电影院放映。随着有声电影的出现，人们很快就发现不仅录音和重现的速度必须协调一致，而且由于人的耳朵对音调变化尤为敏感，电影的放映速度必须连续不变。于是，装有特制自动调节器的电动机被用来驱动放映机。随着速度变化范围的减少，高级的高频响应可以通过更高的速度获得，西方电气公司所选择的每分钟

90 英尺的速度（每秒 24 幅画面）成了标准速度。

20 世纪 30 年代，音响质量继续得到改进。偏磁的应用和美国无线电公司推出的推挽式可变面积录音技术，成功地减少了噪声。使用多扬声器系统和立体音响的实验取得了一些效果，但工业部门并未付出齐心努力将其变成商业价值。不过，迪斯尼的“立体声”（Fantasound）属于例外。1941 年，这种工艺用于《幻境》（*Fantasia*）中，受到了公众的热烈欢迎。然而，由多道录音产生的这套系统需要昂贵、复杂的制片厂和电影院，按此要求装备起来的电影院寥寥无几。立体音响的普遍使用，也是 20 世纪 50 年代磁声道得到广泛应用后的事情。

磁录音的原理在 1909 年由波尔森（Valdemar Poulsen）创立，20 世纪 30 年代由贝尔电话实验室和在德国的美国欧洲小组所发展。第二次世界大战后带到美国的德国磁带样品，促进了研制工作的集中发展。但是，制片厂直到 40 年代末期才开始使用磁录音。在 20 世纪 30 年代和 20 世纪 40 年代，音响生产的光学方法应用于低于标准的 16 毫米和 9.5 毫米规格的胶片。诚然，当时在技术方面还存在着相当大的困难。8 毫米规格的胶片反映出的特殊难题，只有通过磁录音才得到令人满意的解决。

相关文献

[1] Figures provided by the British Film Institute Library.

[2] *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*, **64**, 386, 1955.

[3] Thomas, D. B. *The first colour motion pictures*, H. M. S. O., London. 1969.

[4] Kalmus, H. T., *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, **31**, 564–585, 1938.

[5] Ford, P., History of sound recording, *Recorded Sound*, **2**, 146–154, 1963.

[6] Sponable, E. I., *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, **48**, 275–303 and 407–422, 1947.

[7] Kellogg, E. W., *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, **64**, 291–302 and 356–374, 1955.

[8] De Forest, L., *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, **10**, 64–76, 1926.

[9] Cowan, L. (ed.) *Recording sound for motion pictures*. Academy of Motion Picture Arts and Sciences, McGraw-Hill, New York. 1931.

参考书目

Brown, B., *Talking pictures*, Pitman, London. 1931.

Cornwall-Klyne, A. *Colour cinematography* (3rd edn.). Chapman and Hall, London. 1951.

Fielding, R. *A technological history of motion pictures and television*; *an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers*. University of California Press, Berkeley. (1967).

Low, R. *A history of the British film*. Vol.1: *1896–1906*. R. Low and R. Manvell. 1948; Vol. 2: *1906–1914*. R. Low. 1949; Vol.3: *1914–1918*. R. Low and R. Manvell. 1950. George Allen and Unwin, London.

Mees, C. E. K. *From dry plates to Ektachrome film*. Eastman Kodak Company, New York. 1961.

Wheeler, L. J. Principles of cinematography, a handbook of motion picture technology. (3rd edn.). Fountain Press, London. 1963.

Robinson, D. *The history of world cinema*. Stein and Day, New York. 1973.

第 54 章　医学技术

奥德丽 · B. 戴维斯
（AUDREY B. DAVIS）

虽然在本书的前几卷中谈到过与医学有关的某些技术方面的问题，例如显微镜的研制，能够用钢制造非常锋利的手术刀，能够生产具有麻醉或抗菌性能的药品等，医学技术本身的历史却尚未得以详尽论述。本章所涉及的内容主要是 20 世纪上半叶的情况，但我们有必要触及更早些的历史。

在进入 20 世纪的前一年，芝加哥的一位工厂主特鲁阿克斯（Charles Truax）曾对有关外科器械工艺方面的尚存文献进行了总结：

> 一个渴望获得外科器械或装置资料的开业医生，当他在标准教科书中寻找说明与建议时，会很快迷失在大量令人不满及费解的建议中。准确的论述极为少见，模式的鉴别几乎未知，喜欢一种型号而不喜欢另一种型号，往往根本没有明确的理由。如果这位满腹疑团的医生求助于一本外科学器械目录，他只能发现一些设计不准确的插图，而且画得极差。除了名称和价格之外，根本没有学术价值可言。在失望中，他通常都会经过草率的检验选择一种似乎最适用于其目的的任何器械，对其长处却只是一知半解[1]。

斯卡尔特塔斯（Johannes Scultetus）、海斯特尔（Lorenz Heister）、

布兰比拉(Giovanni Alessandro Brambilla)、萨维尼(John H. Savigny)、加伦乔特(Réné Jacques Croissant de Garengeot)、阿尔曼(Justus Arnemann)、西里格(Albert W. H. Seerig)和佩雷(Jean Jacques Perret)等人，分别在1674年、1718年、1772年、1780年、1796年、1798年和1838年撰写了有关外科器械的技术报告。根据这些重要的历史文献，特鲁阿克斯试图将19世纪下半叶为医生们制成的大量器械进行分类。此前，一些器械被冠以名目繁多的术语，使医生们大惑不解。所以，特鲁阿克斯试图简化这种命名法，并代之以对各种器械的结构、用途和优点进行说明的想法，受到他们的欢迎。

1318

19世纪以前，理发师、外科医生、牙医和药剂师所使用的器具，主要由铁匠、银匠和刀具匠制造。到19世纪，为了满足外科医生日益增长的需要，刀具匠开始雇用外科医疗器械方面的专家，并宣称自己是“刀具匠和外科医疗器械制造者”，虽然他们在此之前就是“磨刀剪的人”。刀具匠制造外科医疗器械，曾被看成是外科器械发展中的极其不幸的事情。

1964年，巴西的丘鲁切特(Pedro Curutchet)研究了外科医疗器械的设计后得出结论，不存在“另一个像外科那样初级、笨拙地用手指摆弄器械的行业”[2]。甚至早在1926年，一位美国牙科制造商便意识到外科医疗器械质量的劣等，声称“没有外科医疗器械能适应于预期的用途，在韧度和抛光度方面都比不上牙医”[3]。那些外科医疗机械的设计根本就不恰当，由于人的手在解剖学上是不对称的，外科医生使用的器械也应该是不对称的，这一点在所制造的器械类型方面并未反映出来。丘鲁切特把医疗器械分为轴式操作型和十字操作型。在轴式操作的医疗器械里，纵向轴如同握着器械的手一样，按照同一方向运动。在十字操作的器械里，纵向轴则与手的中心线相交叉。轴式操作器械不会是几何的、高度手工的和理论设计的结果，而是解剖和功能模式的产物。这样，早期接受类似剃头刀式(十字操作型)工具

的外科医生，便成了谴责让外科医生使用难以操作的器械的先驱。多少世纪以来，基本的外科医疗器械在设计方面改变并不大，主要是由于其早期的造型所致。

为了寻找有关医疗设备的技术细节，首先有必要看一下商人和手工工人的出版与专利。1796 年，阿尔曼是首批编写国际仪器目录的成员之一，他根据仪器的用途编制了一套系统，后来在商业目录设计中为多数厂家所采用。

20 世纪是一个见证了医学技术飞速发展的伟大时代，它刺激了医学专业人士发表经典论著，并对医疗科学技术进展进行评论。制造器械时机械和材料的缺乏，这是评论者们经常需要应对的问题。在整个 20 世纪期间，一些质量低劣的医疗器械继续生产，注射后折断在体内的针，生锈和剥落的金属制品，以及在消毒过程中易于损坏的器械，都是一些危险的例子。1959 年，芝加哥外科医生托雷克（Max Thorek）提倡建立一个对仪器工业拥有直接监督权力的主管部门。在对医疗器械的缺点进行充分讨论后，他建议主要外科组织的一个机构中应当成立质量检查组。在制定可以应用于所有仪器和物品的检验标准过程中，这个小组行使标准局的职权。托雷克相信，通过对可靠厂家的支持和对粗制滥造单位的限制，在一个重视广告、销售和公司声誉等因素的环境中，仪器制造会成为中心问题[4]。

医学技术必须满足医学实践、患者的需要和反应、医学理论和文化倾向所形成的独特标准，对仪器性能易于了解和仪器使用也同等重要。1923 年，福西耶（A. E. Fossier）指出："对一种诊断方法的价值评估，不能以受过特殊训练的人运用这一方法的成功来决定，而要根据普通医务人员运用这一方法的成功来决定。"[5]这是由于普通医生开药多、做手术也多，他们购买了大部分必要的器械，从而保证了这些器械的批量效果，像听诊器和血压计一类的基本器械尤其如此。

基于对精度的不同要求而导致的外科医生个性化的需求和风格，

与相对来说生产与销售数量却不大的各种类型的器械结合起来，就刺激了以响应顾客需求的制造产业。结果，同种用途的仪器增多，许多仪器都标有提出这项设计，或对已有仪器特点进行特别补充的内科和外科医生的名字。这一情形愈演愈烈，贯穿了整个20世纪，直到因经济变化和材料更替，厂家才不得不限制按特殊规格生产器械所花的时间。

外科医疗器械的构造与其他许多器械不同，它需要设计者了解预期用途以及如何制造这种器械。因此，对金属和其他材料的锻、车、镟、焊及普通的处理方法，就必须十分细心，表面的抛光就必须做到看上去没有疵点和供细菌藏身的隐蔽处，尽可能避免裂缝、螺纹和其他复杂的机械处理。器械可分解为若干部件，似乎克服了在消毒方面的困难，可是在使用时也容易散架，这个问题在整个20世纪都未得到解决。所以，对于那些在手术中使用起来十分复杂和易于分离的器械，只好采取折中的办法，采用锁紧螺旋和公、母螺钉相连的方式。为了避免拆卸后进行清洗而造成零部件的混乱，器械的每个部件都打上了特定的号码。

20世纪的医疗器械呈流线型，以便在热水中消毒，因而在美观上有许多不足之处。象牙、骨质、木质和式样复杂的装饰手柄不再被允许使用，取而代之的是将硬橡胶烧结到刀具上，从而使消毒成为可能。由于要生产独特规格的器械和满足对单一器械的需要，厂家在批量生产的过程中，不愿意使用冲模、压印机和其他设备。在20世纪上半叶的许多年中，除了制毛坯、抛光和热加工之外，手工劳动还是主要的，并且几乎没什么改变。

用于制造医疗器械的材料包括英国的“坩埚钢”——保证刀刃和精加工的质量，“酸性转炉钢”和“平炉钢”之类的软钢——用于制造钝器械、镊子和支架，黄铜——用于制造窥镜、牵引器、导管、容器和钝器械，紫铜——用于制造子宫探条、探针、敷贴器、空气压缩

筒和消毒器，银——因具有柔性和刚性，用于制造探针、导管、腐蚀夹具和眼冲洗器，德国银（美国少用）——用于制造导管、套管器械、小型容器和镊子，金——用于制造眼冲洗管和通管丝，铂——用于制造腐蚀器具、敷贴器、宫内电极、电解针、烧灼电极部件和热烧灼器，软硬橡胶——用于制造管道和导管，玻璃则用于制造镜、瓶、罐和管类[6]。

纯银的柔性特别好，用来制造导管极为适宜，因为导管要求进行各种弯曲而不能折断。回火钢器械是难以制造的，因为制造过程不能全部控制。黄铜、紫铜、德国银、橡胶和其他一些轻材料，用起来很方便，制造的仪器价格也适中，手工制造的钢器械却十分昂贵。镀镍可以防止器械腐蚀，但在镀镍之前，需要在金属器械的表面先镀上一层紫铜，否则镀上的镍就会起皮或脱落。包括凿子和骨刀在内的有些器械，如果是钢制的，就特别好用，因为这类器械的用途是切和凿。镀银器械同橡胶接触会产生变色和氧化的不良反应，所以银不能用于含橡胶成分的器械[7]。

第二次世界大战以后才用于医疗器械和医院用品的塑料，对医院的工作来说堪称是一次革命。输血用的塑料袋、导管装置、灌肠器、冲洗器和输液装置等，不需要由护士或专职人员去准备和消毒。这些设备都是单独包装的，用过后便扔掉了。

第二次世界大战前夕，物理学介入医疗领域这一明确动向，使人们更清楚地认识到了大批用于诊断和治疗的设备的机械细节。克利夫兰州的格拉瑟（Otto Glasser）在1945年、1950年和1960年出版了《医学物理学》（*Medical Physics*）系列丛书，总结和归纳了各种科技原理。这套书结合了百科全书、教科书和一个“工作器械”的特征，包括了将物理学原理应用于医疗所需要的数据，还提供了20世纪医疗领域所使用的重要工具、机械设计及制造的许多细节。在这以前的版本是菲克（Adolf Fick）的《医学物理学》（*Die medicinische Physik*，德国，

1856年）和布罗克韦（Fred J. Brockway）的《医科学生物理基础问答》（*Essentials of physics arranged in the form of questions and answers prepared especially for students of medicine*，美国，1892年），这些早期著作主要偏重科学原理，对于技术的应用和医疗效果则重视不够。相比而言，格拉瑟的书吸收了许多富有技术经验的内、外科医学专家的专门知识。

54.1 医疗器械制造业

医疗和外科器械工业集中或靠近西欧和美国东部大城市。第一次世界大战前，西方医疗界使用的器械大多由法、英、德和比利时已经建立的公司提供，主要厂家多数19世纪才开始运营。分布在伦敦的有威斯（John Weiss）、阿诺德父子（Arnold and Sons）、艾伦和汉伯雷有限公司（Allen and Hanburys Ltd）、约翰·贝尔和科劳顿·谢道海布林有限公司（John Bell and Croyden，Theodore Hamblin Ltd）、霍克斯利父子股份公司（Hawksley and Sons Ltd）、D. 布洛斯（Down Bros.）、M. 布洛斯（Matthew Bros.）、莫家父子公司（S. Maw and Son）；分布在巴黎的有卡林和西埃（Colin et Cie）、夏利埃（Maison Charrière）的继承人、马修（L. Mathieu）和卢耶（Luer）。分布在柏林的有温德勒和赖宁格（H. Windler and Reiniger）、格伯特和沙尔（Gebbert and Schall）。此外，还有耶拿的卡尔·蔡司（Carl Zeiss）公司，汉堡的波尔特（C. W. Bolte）公司，梅尔松格（Melsunger）的布劳恩公司（B. Braun），波兰布雷斯劳（Breslau）的赫尔曼和格奥尔格·黑尔特尔公司（Hermann and Georg Haertel），德国图特林格（Tuttlinger）的耶特尔和舍尔雷尔公司（Jetter and Scheerer，以及奥地利维也纳的约瑟夫·莱特公司（Joseph Leiter）。

美国的医疗器械公司主要从事进口和出售的推销工作，制造设备的只有几家公司，例如费城的乔治·皮灵（George Pilling）公司、纽

约的福特(W. F. Ford)公司、波士顿的寇德曼和舍特莱夫(Codman and Shurtleff)公司、费城的格姆里克(J. H. Gemrig)公司、圣·路易斯的阿洛埃(A. S. Aloe)公司、辛辛那提的马克斯·沃赫(Max Wocher and Son)家庭公司、费城的科尔比(D. W. Kolbe)家庭公司。此外，还有几家假肢制造公司，例如弗吉尼亚州里士满市的汉格父子(J. E. Hangar and Sons)公司和纽约的 A.A. 马克斯(A. A. Marks)公司。

法国在医疗器械产品质量方面享有盛誉，这些产品由沙里埃等具有显赫名声的医疗器械制造公司制造。至 20 世纪 20 年代，根据巴黎医院的外科医生和临床医生的良好反映，这些公司还被尊称为外科医疗器械的“珠宝店”。

第一次世界大战前，德国、英国和法国均有大量医疗器械出口。到 1927 年，法国仍有 3/5 的医疗器械出口到西班牙、葡萄牙、意大利和南美。德国的资源和工艺确保了它在第一次世界大战前的世界市场占据领先地位，美国几乎全部依赖德国制造的医疗器械和英国高质量的钢制器械。比利时、意大利、奥地利和美国也都生产医疗器械，第二次世界大战结束后，美国在医疗器械生产的质量和数量上达到几乎可以自给自足的程度[8]。

20 世纪俄国的医疗器械制造中心设立在列宁格勒的“药剂师岛”(Apothecary Island)，继承了 1700 年彼得大帝(Peter the Great)建立的医疗器械制造厂，并在 1917 年革命后更名为“红色卫士”。1850 年，这家工厂便开始专门生产眼科、产科和泌尿生殖系统的医疗器械。1922 年，一个委员会对医疗器械进行了调查，并且提出要采用新的制造技术。到 1933 年，200 种新医疗器械在一年中制造出来。第二次世界大战以后，“红色卫士”基本上改变了产品重点，只限于生产技术性很强、十分复杂的医疗器械和设备。1950 年，这家工厂生产了对血管、组织和内部器官进行机械缝合的半自动化设备，这是俄国对医疗技术的最重要贡献之一[9]。

整个20世纪，为了满足不断增长的医疗需要，私人商业实验室发展很快，对血液和其他体液进行诊断检查的科学仪器——例如血细胞计数器、化学试剂和显微镜的生产量持续增长。早在1883年，美国便建立了商业实验室。在20世纪头25年里，这类实验室增加到数百个。

54.2 牙科行业

牙科器械，特别是手用工具和义齿，多数国家均在生产。到19世纪末，美国在这方面已经名声大振，由像费城的怀特和尤斯蒂(S. S. White and H. D. Justi)公司这样的美国公司生产的义齿，在国际上享有盛誉。1887年，由于对人造牙齿的广泛需要以及对制造金属或合成材料牙齿的特殊技术需要，美国牙科实验室(American Dental Laboratory)由波士顿的斯托(W. H. Stowe)首次建立，并接受对人工牙齿不断改进的挑战。这个工业组织在世纪交替之际时还只是一个简单的车间，到了1950年发展成为拥有数千个实验室的有序行业。

在这些实验室工作的技术人员都不是牙科医生。他们起初的身份是修牙匠，而后是机械牙医，随后又是修补牙医，最后才成为牙科技师。这些术语的变化，反映了他们不断增长的工作能力及工作任务的复杂性。1917年，97%的牙医均能从事修复技术。到了1957年，97%的修牙工作由商业实验室来承担。

面对诸如反复修补义齿费用昂贵等问题，技艺高超的专业人员改进了制造工艺和修补方法。1900年的一项最引人瞩目的技术革新，使得一颗义齿的价格从1.75美元降到1美元。在“20世纪”义齿中，镍或德国银取代了用于固定义齿的昂贵白金。

1324

截至1906年，制造这些牙齿的“牙科供应公司”是牙齿制造的最大厂家，它进一步开创了一个根据人的脸型制造牙齿的系统。这些牙齿称为“特鲁伯特(Trubyte)系统”(欧洲称为“安那托型”)，1914

年在市场上销售。设计师威廉斯（Leon Williams）认为，人造牙齿是机械牙科学的成就，同样也是艺术家努力的结果。还有一些同样具有划时代意义，包括1930年付诸使用的“新特鲁伯特牙齿”，1939年问世的特鲁伯特新式牙齿，以及1947年采用的首批塑料牙齿——特鲁伯特丙烯酸牙齿，这种牙齿颇具天然色。

到20世纪30年代，已经同大多数牙医建立起良好工作关系的实验室意识到，对基础加工过程进行想法交流是有益的，从商业意义上讲也是有利的。1939年，第一批为其他实验室加工铬和部分金质义齿的实验室中，便有威彻特实验室有限公司（Weichert Laboratories Inc.）的实验室。芝加哥的寇伊实验室（Coe Laboratories）同其他实验室一道，共同分担了波尔克·E. 埃克斯（Polk E. Akers）公司改进义齿部件的工作。

1932年，纽约和芝加哥的奥斯坦纳尔（Austenal）实验室，生产的维他良（Vitallium）高钴铬钼耐腐蚀、耐热合金，是牙科实验室提供的最有用的金属材料之一。1936年，改进的钴铬合金应用于人工身体部位的制造，例如骨骼和关节的替代品，因为这种合金在化学性质方面具有惰性、抗污和抗腐蚀的特点，在物理性质方面具有高强度和不易磨损的特点，并具有所需的重量。但是，这种合金一开始只用于义齿的制造。到1958年，经过奥斯坦纳尔专业人员的训练，300个美国和外国的权威实验室都生产了维他良高钴铬钼耐腐蚀、耐热合金义齿。

区域性实验室的自行组织始于1914年。1920年，美国的全国性组织——美国牙科实验室协会（American Dental Laboratory Association）成立，参加者均是较大的实验室。1947年，出现了第二个美国牙科实验室协会[10]。

20世纪牙科技术是以牙科工具的电气化为特点的，其中包括牙钻、口内透照灯、器械消毒器、烧灼器、牙锤和X光机（图54.1）。最早的设备还是由电池提供动力，不仅动力有限，还需要许多储存空

间，使用起来并不可靠。充分利用电池功能并不容易，需要技术知识和技能，那些对用电知识准备不足的牙医们的信心受到严重打击。到1900年，当人们普遍认识到公用发电机是电的可靠来源以后，牙医们才知道自己只需要学会协调操作定时杆或按动电钮，便可以开动牙钻、软化牙胶、使金退火、熔化瓷质和对器具进行消毒。把小型特制发动机用于单个器械上，从而代替向所有外科器械供电的大型发电设备，显然是可行的办法。第一次世界大战后，作为牙科标准设备的交流电装置的出现，使得困难、复杂的手术变得容易和简单。

应用电动器械推动许多改进，最显著的是由消音装置和整洁牙术所带来的美学变化。电动机的使用提高了牙医的声誉，他们再也不像街头的艺人或使用踏板机械的技工了，而是以专业医生的形象出现。对于病人来说，在填补空洞的过程中，由于钻牙和准备汞合金方法的速度加快，他们也感到轻松了一些[11]。

灯泡装在笔形小器械的顶端，用以查找闭塞的龋损。随着X射线照相的应用，牙科医师能够观察龋齿周围的组织，这在以前是难以做到的。一般来说，这是耳鼻喉科医生诊断治疗的操作。通过特种灯光观察，牙科医师早就注意到了上颌窦与牙齿的密切关系，有时上面的小磨牙根部直接穿入上颌窦。与此同时，牙医与耳鼻喉科医生之间的关系也日益紧张，主要问题是应当由谁来治疗由牙齿诱发的窦部疾病。伸入窦部的一颗牙齿可以引起局部和系统的严重感染，医生们所能接受的做法是在耳鼻喉科进行会诊。然而，有些牙医认为必须通过引流和刮除才能治愈感染[12]。

54.3 医药工业

19世纪40年代生产乙醚和三氯甲烷麻醉剂的两家美国公司——夏普（Sharp）与多赫美和普费泽（Dohme and Pfizer），显然是最早提供合成药物的公司。在药物工作者和外科医生之间，麻醉学开始架起了

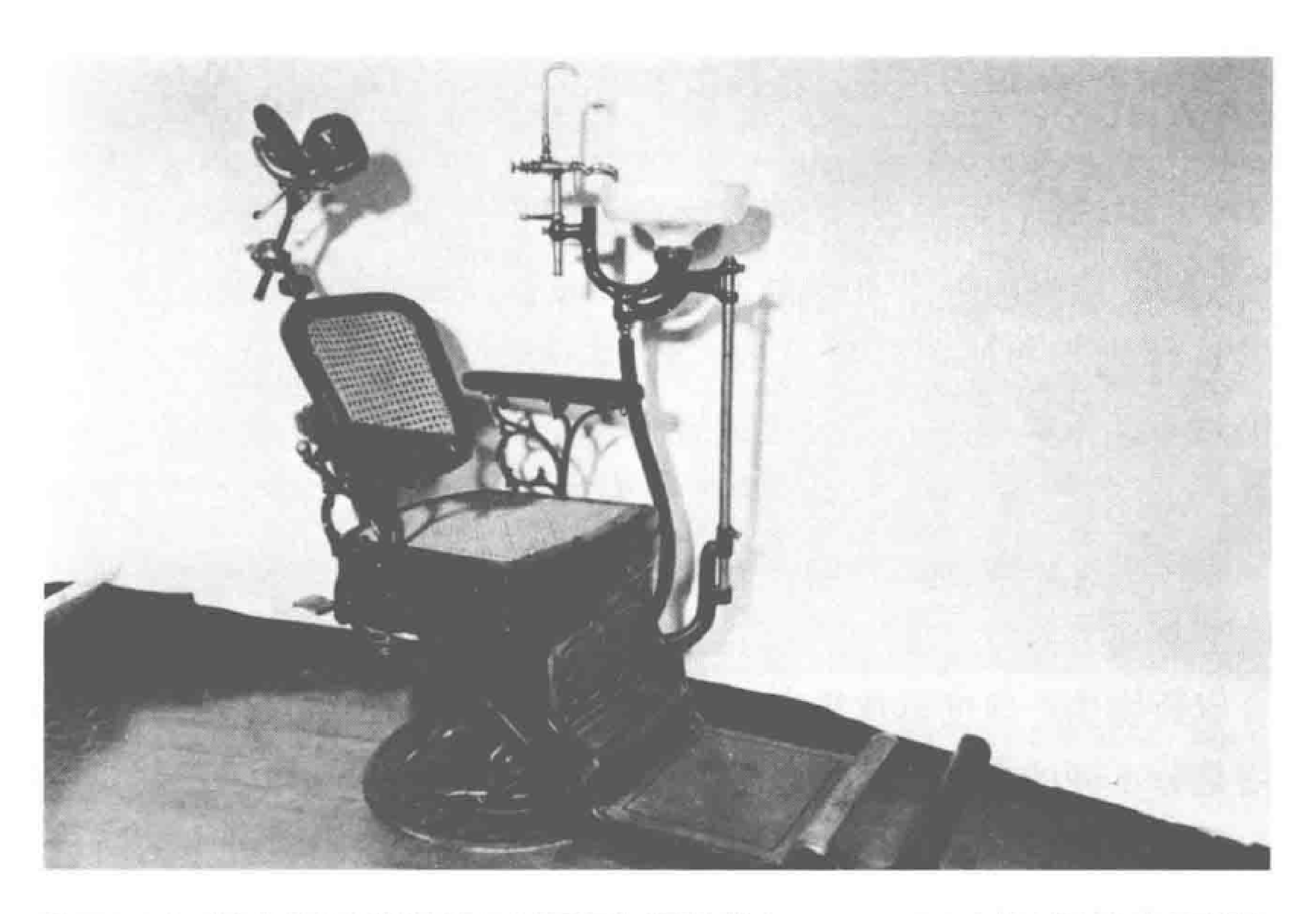


图 54.1（a） 美国路易斯安那州新奥尔良的牙医先驱凯尔斯（C. Edmund Kells）博士设计的装有可调座位和空吸痰盂的牙科椅，1893 年。

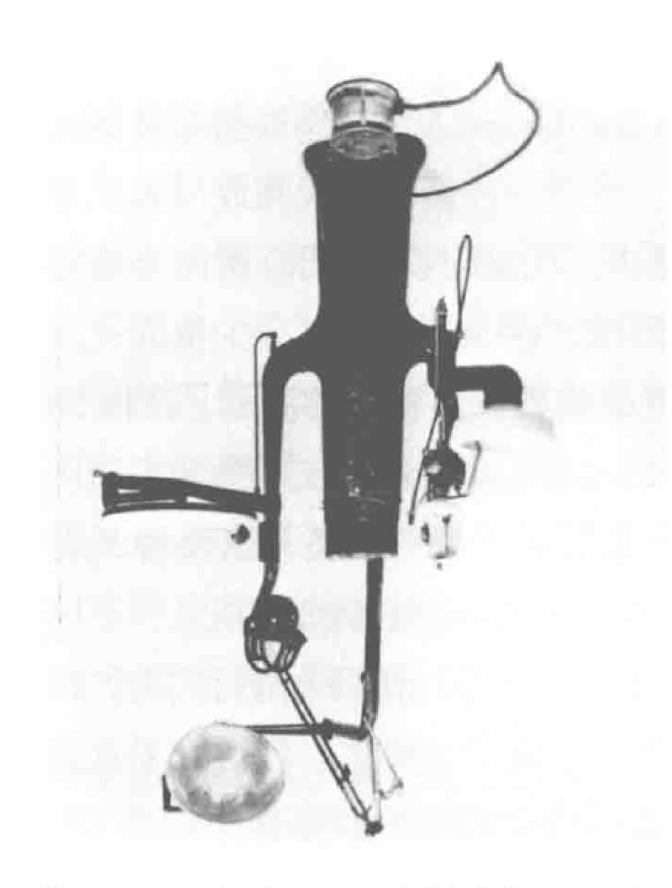


图 54.1（b） 里特（Ritter）牙科装置模型 B，1929 年。

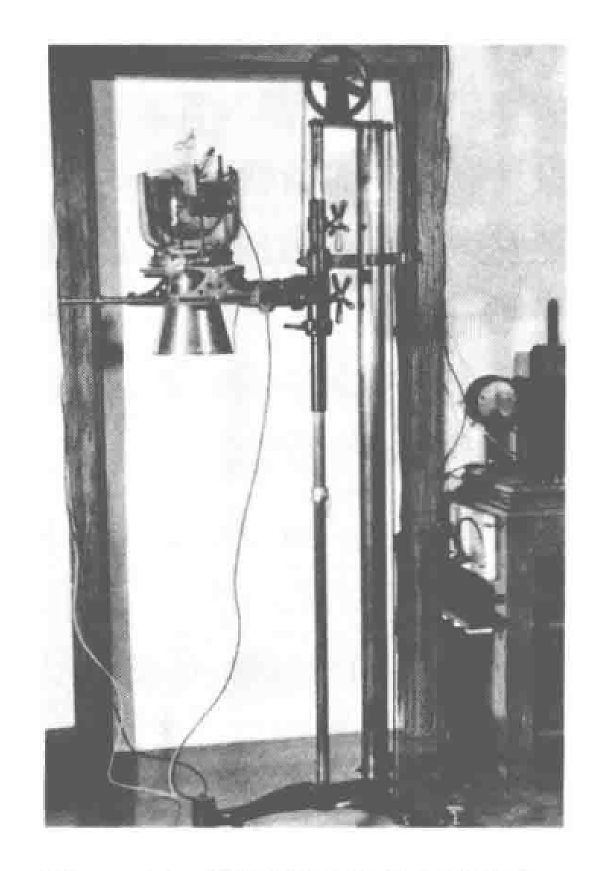


图 54.1（c） 凯尔斯博士用过的 X 线装置。

一座早期并永恒的桥梁，有机化学家合成的药物首次用于对患者的治疗[13]。

在巴斯德（Pasteur）的研究之后，19世纪80年代兴起的合成药物工业，应当是20世纪药品发展的奠基石。第一次世界大战前，德国是合成药物的主要供应地。到1910年，尽管大多数合成药物仍然不能根除病因，却大大减轻了疾病引起的痛苦。埃利希（Paul Ehrlich）治疗梅毒的药物“606”的发现，对合成药物业起了极大的刺激作用。直到1935年在多马克（Gerhard Domagk）发现某种红染料能治愈细菌感染之前，合成药物工业一直步履蹒跚。20世纪30年代，合成药物生产速度迅速提高。这与当时各种自动控制设备的辅助作用是分不开的，这些设备包括优质温度计、光电眼、电子控制装置和光谱分析仪。这一时期，“勉强的结合”或复合组成处方的时代结束了[14]。

1327

54.4 放射学

1896年11月8日，伦琴（William Röntgen）在操作根据克鲁克斯设计制造的盖斯勒（Geissler）管时，发现一种新型射线释放出来，并把它命名为X射线。在克鲁克斯管内，阴极射线（电子）射向金属靶子（通常是阳极），一般都用铝做阳极，这一过程需要有少量的气体，故称“充气管”。就是通过这只抽空玻璃管在实验室的演示，使得20世纪最先进、最冒险的医疗器械得以发展。设计师、工程师和生产厂家立即行动，着手制造空前复杂、精致和昂贵的设备，以便将X射线射向指定的人体部位，从而了解内部构造，治愈病灶组织。

X射线的发现是医学史上无可比拟的巧合，随后为进行实验、解释和应用X射线所需要的各种复杂技术也应运而生。包括管子及其电源在内的生产X射线的基本设备已经在实验室和临床中出现（图54.2），例如感应线圈［伦可夫（Ruhmkorff）感应线圈］、静电装置

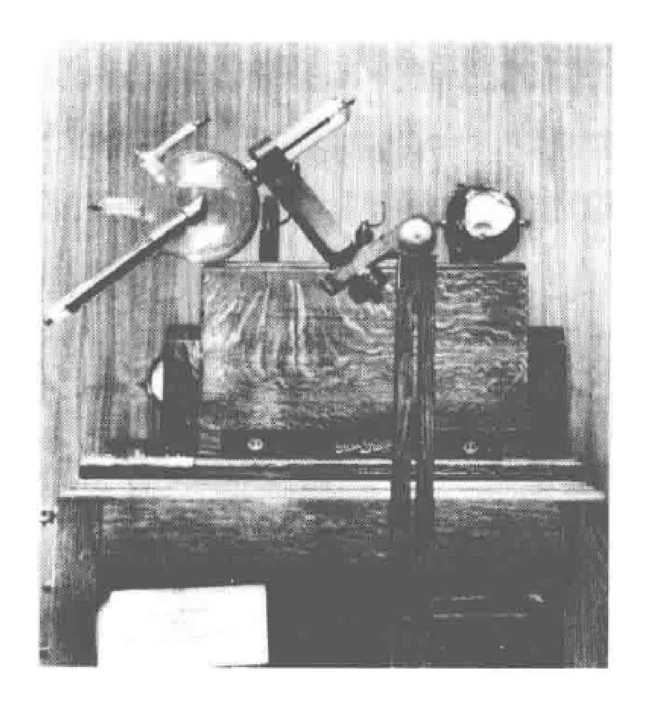


图 54.2（a） 凯利 - 凯特（Kelley-Koett）X 射线装置，1904 年。

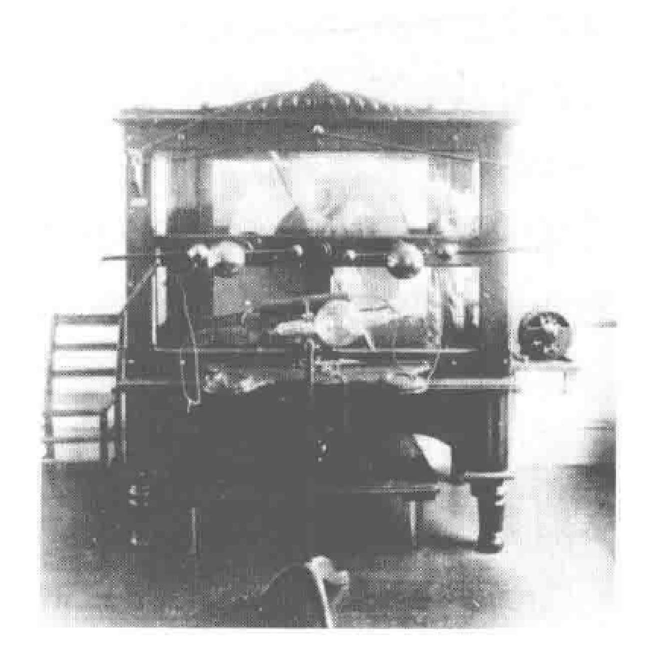


图 54.2（b） 装有 X 射线管的静电设备，1900 年。右侧的电动机使玻璃底片旋转，随之产生静电。

和能够提供高电压的特斯拉（Tesla）变压器。铅防护罩、铝制滤光器、高压电源、摄像板和荧光屏均有助于 X 射线更准确地聚焦，提供足够的动力穿透有机物和无机物，同时作下记录。为了适应生成和控制 X 射线变换的需要，这些部件不断改变，快速、安全而有效曝光的想法变成了现实[15]。

在 X 射线胶片的对比强度得到改进的基础上，诊断放射学开始发展起来。早期使用的玻璃底板、胶片和化学药品，都不能提供鲜明、清晰的图像。1896 年，首批用于 X 射线的特制底板问世。在第一次世界大战期间，随着对 X 射线胶片的需要，X 射线感光用片的生产得到稳步发展。1925 年，具有高感光度和反差好的硝化纤维素胶片由纽约罗切斯特的伊斯门（George Eastman）公司制造出来。20 世纪 20 年代末期，这家公司继续进行改进 X 射线胶片的工作，用醋酸纤维素胶片代替了原来的硝基胶片。1938 年，显影速度由 $4\frac{1}{2}$分钟减少到 $1\frac{3}{4}$分钟。从此，较快速度的胶片开始相继出现。为了减少再次

1328

辐射对胶片的照射，1918年研制出了用于牙科射线照相的特殊铅衬底胶片的包装。1926年，雷珀（Howard R. Raper）设计的小片包装得以应用，并改进了胶片，用于牙科的X射线的曝光时间大大缩短，实现了有先见之明的美国牙医罗林斯（William Herbert Rollins）的目标。是在坚持牙科或其他诊断中尽可能少使用X射线辐射剂量方面，罗林斯是先驱者之一。为了达到这一目标，他研制了许多方法，还预见到X射线机的其他改进，例如将X射线的底片放在两个增光屏之间[16]。

在波士顿，坎农（Walter Cannon）有效地验证了可以勾画人体器官轮廓和显示对比密度的不透明物质。1897年，他为了弄清胃的内部情况，给猫喂食了一点铋盐，后来发现硫酸钡盐是了解人体消化系统最令人满意的不透明物质。

照相底板或照相纸变黑、某些物质的荧光和其他化学变化，都是X射线产生的结果。在使用过程中，如果X射线超过一定的量，便会产生诸如脱发、皮肤变红、重度烧伤等生物反应，这些反应是在能量被身体特定部位的组织吸收时造成的。对X射线生物反应的认识，导致了它在医疗上的应用。为了控制和预知X射线的反应，测量它的剂量便成为首先需要解决的问题。

1329

关于药物的剂量，人们早就做过一些尝试。但是，伦琴射线及相关伽马射线的单位剂量的确定，却是由1937年在芝加哥举行的第五届国际放射学大会完成的，单位为伦琴（r）。使每0.001293克空气产生携带1个静电单位电量的离子的辐射，这是1伦琴的放射量。虽然已经明确每星期接受的最大量不能超过0.3伦琴，但在20世纪中期以前，还没有任何方法能确定人体组织所吸收的能量大小。20世纪30年代末期，射向深层组织的射线的换算方法被人们设计出来。这种被人们称为替身的测量装置“是一个能吸收和排除射线的材料集合体”，它的“结构、尺寸和吸、排射线方式，堪与人体的一部分相比”。

最令人满意的替身是由纤维素制成的。

两种放射源植入物被用于治疗深层癌细胞的过程中。永久植入物通常是厚0.3毫米、长4毫米的含金晶粒，植入3个星期后，晶粒中的氡失去90%的活性。活动式或针式植入物所含的氡或镭被封闭在白金容器中，早些时候是包在钢或蒙乃尔（monel）高强度、耐腐蚀镍铜合金中[17]。

1900年，旧金山的琼斯（Philip Mills Jones）最早将X射线用于皮肤结核（寻常狼疮）和皮肤癌的治疗。早在1896年，人们尝试着用射线治疗皮肤癌，除去多余毛发。1894年，哥本哈根的N.R.芬森（Niels Finsen）宣布发现了紫外线灯（也称芬森灯，是以发明者的名字命名的）（图54.3）。此后，用人工紫外线灯治疗狼疮便很普遍。1903年，芬森因为这一成果成为第一个获得诺贝尔医学奖的人。他用大功率的聚光透镜把阳光或从弧光灯射出来的光聚集到一点，并通过压在皮肤上的水晶将聚集的光线投射到患者病灶上。压在皮肤上的水晶可以驱走病灶处的血液，从而使"光化射线"或紫外线穿入得更深。这种疗法是成功的，但因为设备昂贵，还需要训练有素的专职人员进行操作，所以收费很高。随着芬森对特种光的推荐，光学研究机构和诊所在全世界如雨后春笋般出现。

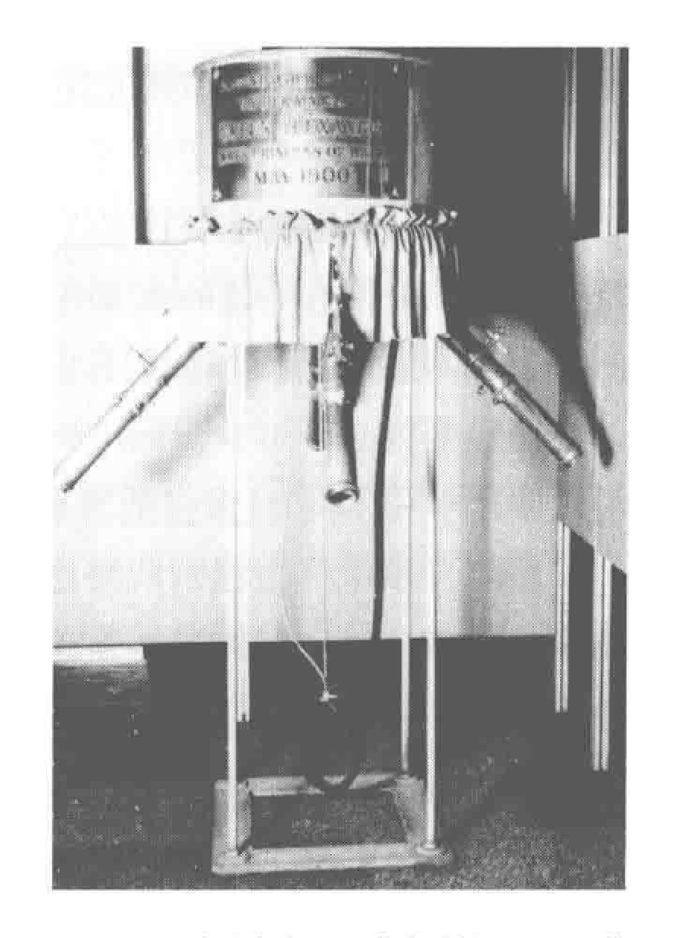


图54.3　这套设备由N.R.芬森首创，用于以紫外线灯治疗皮肤病。1900年，当时身为威尔士公主的亚历山德拉皇后（Queen Alexandra）将其赠送给伦敦医院。这套设备使用了30多年。

1330

用于治疗皮肤病的X射线剂量还是比较小的。1915年，

美国皮肤病专家所用的 X 射线剂量由希勒（J. S. Shearer）计算出来，罗默（P. H. Romer）、威瑟比（W. D. Witherbee）和麦凯（W. Mackie）在1946 年进行了修正。

1896 年间，X 射线医疗设备安装在纽约市长老会医院和哥伦比亚医学院外科系。1899 年，第一个专门建在医院的 X 射线实验室被费城总医院引进。一个滑动伸展器、一个伦可夫感应线圈和一个奎因（Queen）与费城公司联合制造的自动调节射线管，需要被放入一个长 15 英尺、宽 12 英尺的房间，同时还要从房间里分隔出长 12 英尺、宽 3 英尺的暗室。由费城的塞延（Henry Lyman Sayen）设计的这种射线管，在高真空中可在第二对电极间产生火花。这些火花使光程中的碳酸钾温度增高，放出气体，并使射线管再次运转。在当时，这种射线管很普遍。通用电器公司 E. 汤姆孙（Elihu Thomson）研制的射线管虽然不是原创设计，却是在美国获得专利的第一根射线管（1897 年 6 月 26 日）。

1331

在芝加哥，出生于德国的工程师富克斯（Wolfram C. Fuchs）成功开办了第一个相当不错的商业 X 射线实验室，接替了由哈米施（F. C. Harmisch）和施密特（Otto L. Schmidt）1896 年开创的工作，此时，X 射线已经变得必不可少。到第一年年末，富克斯便拍摄了 1400 张 X 射线照片[18]。由于过多接受 X 射线的照射，富克斯死于癌症。

1903 年，电气工程师斯努克（H. Clyde Snook）创建了无线电电气公司。这家公司和怀特（Herbert White）、凯利（Edwin Kelly）等人合作发展，后来变成了“费城伦琴制造公司”，堪称医用 X 射线机生产装有感应线圈和高频线圈的无阻变压器方面的先驱。1907 年，斯努克发表论文，对当年安装在费城杰斐逊医院的第一台机器的工程原理进行了说明。斯努克为 X 射线设备工业奠定了基础，这个行业是第一次世界大战后获利最多的医疗供应工业部门之一。当时，斯努克机已经达到 11 万伏、200 毫安，功率远远超过其他的线圈[19]。

通用电气公司设在斯克内克塔迪（Schenectady）的研究实验室，为应用这种功率所需要的高压X射线管做着准备工作，主要负责人是正在进行必要的高真空技术研究的朗缪尔（Irving Langmuir）。与此同时，X射线管中的靶被改为钨，因为钨在更高的温度下能够释放出电子。

1913年，当库利吉（William David Coolidge）设计出用具有延展性的钨丝制造高真空、高压管时，充气管时代便宣告结束了。库利吉在通用电气公司研究实验室工作，从生产出首批廉价实用灯泡的同行们那里吸收了已有的研究成果与经验，并得到了很多启发，设计出了库吉利管。1916年，库利吉管获得专利，并成为整个20世纪制造医疗和牙科用X射线管的原型。最初的钨丝靶装在由波士顿的麦卡拉斯特-韦根公司（Macalaster-Wiggen）制造的射线管里。威廉斯（Francis H. Williams）是最早将X射线系统应用于医疗实践的医生之一，也是第一个放射学家。

1908年前后，维克多（Victor）电气公司首先在市场上推出用于牙科射线照相的X射线设备。此前，这家公司已经为牙医提供了基本设备，其中包括电动补牙机、牙齿空气压缩机和各类牙科车床。1910年，它停止生产上述设备，专门从事X射线设备的研制。

1332

在应用X射线治疗牙齿时，X射线管和动力装置要置于靠近患者和医生的头部及肩部。由于X射线动力装置的电压越来越高，从而减少了曝露的时间，用于电冲击的潜能也随之增加，甚至在把X射线管密封在玻璃或木质套中之后，这种潜能依然存在。为了改进用于牙科的X射线的发射角，直角库利吉管在1917年设计成功。

第一部全防震装置是库利吉的油浸CDX式装置，X射线管及其全部零件都能装进一个充油钢容器中。这种设备在1921年时还不够普遍，到了1923年便已经应用广泛。

1930年，加利福尼亚州洛杉矶的瑟伊兰（Albert Soiland）首次成

功地把超高压X射线管用于直肠癌的治疗。这种射线管由加利福尼亚理工学院的劳里森（C. C. Lauritsen）提供，电流为4毫安时可产生60万伏的电压，价格在3万美元到5万美元之间。1935年，通用电气公司制造出电压为40万伏的通用型射线管。早期的射线管式样笨重，价格昂贵，所以一般都无法安装。1939年，通用电气公司的查尔顿（E. E. Charlton）缩小了这类高压设备的体积，将设备放入充有压缩气体（如氟利昂）的容器中。一部早期的100万伏设备的长度为7.5英尺，直径为4英尺。

高压放射术下一步的重要发展是电子感应加速器的出现。1940年，伊利诺斯大学的克斯特（D. W. Kerst）根据斯坦贝克（M. Steinbeck）1936年在德国进行的实验，研制出电子感应加速器。像回旋加速器一样，这部精制的设备使粒子在电磁极之间沿着环形轨道产生加速度。1943年，一部2000万伏的放射治疗机有了图纸，但第二次世界大战中断了这项工作的进展。

到1949年，3100万伏的电子感应加速器已经在欧洲用于医疗。同时，两部3100万伏同步加速器正在英国进行安装，分别由苏联物理学家韦克斯勒（V. Veksler）和新墨西哥州洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）实验室的麦克米伦（E. M. McMillan）独立构思出来。1946年，英国的高厄德（F. K. Goward）和巴恩斯（D. E. Barnes）使一部4兆电子伏的电子感应加速器生产8兆电子伏电子。此外，同步加速器可从较小的轻型设备中产生更高的电压（7000万伏）。

1951年，加利福尼亚大学的斯通（Robert Stone）同通用电气公司商定，装配一部7000万伏的同步加速器。直到1956年7月，这部加速器才用于临床。

1333

安装和开动这些设备所需的巨额资金的来源越来越充沛，这是由于富有的捐赠者们的解囊相助，例如凯洛格（W. K. Kellogg）、私人基金会、美国公共卫生组织和其他政府机构，特别是一直支持美国高压

医疗放射事业的美国原子能委员会。

在1934年约里奥·居里（Frederic Joliot）和伊雷娜·居里（Irène Curie）发现人工放射现象之后，镭及其他天然放射元素的放射作用在临床上变得重要起来。1923年，赫维西（George Hevesy）就提出在动物和植物中应用放射性同位素示踪的技术。到1936年，有18种对于生物十分重要的放射性同位素在加利福尼亚的劳伦斯（Lawrence）回旋加速器站投入生产。在这一年里，用人工放射性同位素进行医疗的尝试已经开始。经过10年的研制，怀斯曼（Bruce K. Wiseman）在1951年提出了红细胞增多症选用放射性磷治疗的报告。1946年初，300多种放射性同位素在田纳西州的橡树岭（Oak Ridge）被制造出来，其中约有20种用于医学[20]。

按照尺寸、容积和应用目的，20世纪的X射线机可分为3类。最小的一类产生的最大电流不超过30毫安，最大电压在6.5万—8.5万伏之间，只是提供牙科的X射线照相。中型设备可用于小诊所的诊断和外科大夫的手术，电流为100毫安，最大电压为10万伏。最复杂的大型设备具有最大的容量，电压和电流分别为12.5万伏和300毫安，设置在放射学家最大的研究机构和诊所中[21]。

对于无法借助其他技术诊断疾病的医生来说，这种器械的明显优越性在于可以得到大量患者的合作。在20世纪早期的数年里，许多人大声疾呼使用X射线技术，以便使他们自己相信医生对早期疾病并未低估和漏诊。

作为独特诊断的X射线的发展，把一些特别引人瞩目的技术设备和其他问题带进了医学领域，几乎与所有专业都有关系，例如矫形术、内科学、神经病学、胃肠病学和心脏病学。X射线技术奇迹般地加快了诊断与治疗的步伐，一门被称作放射学的新专业问世了。从事放射性工作的放射学专家们相信自己的设备，更胜过信赖其他医学专家。

在20世纪上半叶的50年间，X射线主要用于体检、医疗和背景放射方面。X射线和镭治疗得到越来越广泛的应用，致使生产厂家、内科医生、外科医生和牙科医生要重新确定一个人耐受X射线放射的最大剂量。

54.5 麻醉术

使用诸如乙醚、一氧化二氮和氯仿之类的麻醉气体，并使它们在肺里保持合适的压力，这是几种成功方法的目标。因此，种类繁多的设备在20世纪被研制出来。1909年，洛克菲勒研究所的梅尔策(S. J. Meltzer)和奥尔(J. Auer)设计出了气管麻醉剂的设备，气体通过插入气管深部的管子吹入肺里，再通过置于气管中的另一只管子自然地或人工地呼出来，这样便最大限度地减少了呼吸运动。这项技术由纽约州的外科医生埃尔斯贝格(Charles Elsberg)在1910年投入使用，5年后便得到广泛应用。1913年，杰克逊(Chevalier Jackson)改进了内窥镜和直视喉镜检查术，克服了初期插管的困难。杰克逊的喉镜和支气管窥镜，都是美国早期生产的重要内窥镜之一。

由于数以千计的患者进行口腔和胸腔手术时需要施行麻醉术，第一次世界大战期间，麻醉师玛吉尔(Ivan Magill)和罗博特姆(E. S. Rowbotham)被派到驻扎在英国锡德卡普(Sidcup)的英军整形部队工作。他们改进了喉镜，使通入气管吸入法产生麻醉效果获得成功，并解决了气体通过一只大口径管子进出的老式吸入法的回路问题，让管子可以通过鼻腔或口腔插入，或者切开喉头或气管将管子插入。到20世纪30年代，吸入麻醉法成为最好的方法。美国格瓦思米(J. T. Gwathmey)和麦克森(E. I. McKesson)以及英国博伊尔研制的设备，对上述麻醉法最为适用。

由英国人斯诺(John Snow)在1850年最先用于在动物的封闭式麻醉术，在1924年用于人体。在此之前，沃特斯(R. M. Waters)令人信

服地提出这种方法可以保留麻醉气体，有助于保持体温和体内湿度，价格低廉又易于操作。由于用苛性钾或钠石灰一类的化学物质吸收二氧化碳，古德尔（A. E. Guedel）和沃特斯在1928年设计出一种膨胀套式凝气瓣，成功解决了漏气问题，从而为20世纪30年代开始封闭麻醉装置在美国的广泛使用铺平了道路[22]。

1916年，伦敦圣巴塞洛缪（St. Bartholomew）医院的博伊尔（H. E. G. Boyle）从美国引进了第一台华特迈研制的吸入麻醉术设备，用来处理一氧化二氮、乙醚、二氧化碳和氧气。为了防止在管子的连接处漏气，博伊尔对这种设备进行了改进，并建议英国的考科塞特（Coxeter）公司生产改进过的机器。第一台博伊尔机装在一个沉重的木箱里，并带有两根金属闩杠，用于支撑两个一氧化二氮气瓶和两个氧气瓶，“气泡瓶”或水瓶和乙醚容器置于气瓶之上。这种由布思比（W. M. Boothby）和科顿（Cotton）在1910年设计的气泡瓶是插入式的，可以看清气泡，并通过气瓶的调节阀控制气流速率。通过一根细橡皮管（此管由三通活塞将一个储存袋和面部零件连接起来），气体从可视进气的气泡瓶中输给患者。15年后，一种自1888年起用于工业上的减压阀被应用到气泡瓶上。在给气时，它将气瓶中1500磅/英尺^{2}的压力变为50磅/英尺^2。

从1910年起，氯仿瓶已经投入使用。1926年，增加了用于调节乙醚和氯仿气体数量的控制装置。到20世纪30年代初，由于金属控制装置长时期使用后容易漏气，它们被酚醛材料代替。1931年至1933年，“干式”流量计和减压调节器研制出来。整个第二次世界大战期间，一直使用的考科塞特气泡计虽然并不精确，但比可视进气的气泡瓶还是要好得多。1937年，索尔特（Richard Salt）推出的旋转流量计是一种更灵敏的装置，一直用于测量诸如氨之类的工业气体，第二次世界大战后被安装在麻醉机上。旋转流量计是由带斜槽的硬铝制成的，所以流量筒在旋转时不会碰击管壁，从而消除了由于摩擦而造

成的损耗问题[23]。

局部麻醉 20世纪以前，人们就对人体的局部麻醉进行过尝试。

1336

在欧洲，医疗部门应用局部麻醉做切除扁桃体之类的常规手术。但是，在手术过程中，由于患者的意识是清醒的，其中一些人受到“心理冲击”。1896年，比尔（August Bier）用可卡因为同行们提供了局部麻醉的模式，其中包括表层应用、手术部位神经末梢浸润或麻痹，以及脊髓低位的神经传导阻滞。

艾因霍恩（Alfred Einhorn）在1904年发现的普鲁卡因，是所有重要局部麻醉剂的先导。毒性较小的药品——例如斯妥伐因、托派可卡因和后来被美国人称为奴白卡因的沙夫卡因等药品，在使用方法明确后也得到了应用。用于黏膜的表层麻醉药物中，有可卡因、奴白卡因和利多卡因。

到20世纪中期，脊髓麻醉变得不普遍了，这是因为它本身所引起的并发症，也因为缓解药物同样有麻醉作用。使用脊髓麻醉的医生们发现，保险公司对于因使用脊髓麻醉药物而造成的恶果是不负责任的。最不幸的是，在第二或第三腰椎以下注射麻醉剂时，注射针会折断。早在1889年，这种情况就曾发生过。到1939年，据91位麻醉师统计，这类事故已经出现63起。20世纪50年代，琼斯（Howard Jones）制造出一种不锈钢注射针，可以减少事故的发生。这种针的尖部呈斜面状，进针时更容易掌握。为了便于穿刺厚皮，伦敦的D.布洛斯制成了“赛斯”（Sise）导引器，精致而坚硬的金针（21号）能够通过皮肤直接到达脊髓的硬膜。

从19世纪起，牙科医生便开始使用麻醉注射，以消除和减轻在拔牙和处理深龋洞和根管过程时给患者带来的痛苦。1900年左右，在明知有毒副作用的情况下，低浓度的可卡因和优卡因B仍被推荐为局部麻醉药物。由于这些药物的滥用和错用，致使人们对它们的价值不再信任，牙医也不愿意使用局部麻醉剂。到20世纪30年代，通

常用于局部麻醉的药物是一种含 2%普鲁卡因和十万分之一肾上腺素的溶液，用法是将这种溶液注入齿龈。全身麻醉剂——例如一氧化二氮，则用于磨牙的拔除或几颗牙齿的同时拔除。对于大范围的牙科手术，乙醚是合适的麻醉剂。牙科麻醉使用的特制设备中，主要包括初期的一氧化二氮装置和滴过乙醚或氯仿的简易面罩[24]。

1337

气体和蒸气麻醉 到 20 世纪 20 年代，乙烯、乙炔和丙烯都用作麻醉剂，在作用上同一氧化二氮相似。一氧化二氮是一种最弱的麻醉剂，使用时必须保持最大的浓度。在施用乙烯、乙炔和丙烯时，所用气体必须纯净，因为这些气体若同氧或空气混合即会爆炸。到 20 世纪 50 年代，乙烯在美国只是零星地使用，在英国则根本不用了。从 20 世纪 20 年代—50 年代，乙炔在德国使用得很普遍，被称为纳烯伦，在美国则用得不多。氯乙烷可以广泛地用于麻醉或为儿童做简单的手术，它便于携带，使用安全，催眠速度快。

第二次世界大战结束前，在所有使用的麻醉剂中，氯仿至少要占 3/4。但到了 1930 年，这种药物便极少单独发挥作用，通常将它同一氧化二氮和氧气混合起来使用，滴到蒙在患者脸上的纱布垫上，这种方法源于米尔斯（J. Mills）。这种药物的毒性作用是可以引起心室颤动，优越之处是与空气、氧气或一氧化二氮混合时不会燃烧或爆炸。

乙醚也产生毒性作用，但毒性作用随着用量减少而减小。乙醚需同一氧化二氮和氧气混合起来使用。

1883 年，对施于患者的乙醚蒸气要进行必要加热的问题被提了出来。1916 年，希普韦（F. E. Shipway）阐述了一种对乙醚进行增温的装置。在整个第二次世界大战中，这种装置一直在使用，乙醚或氯仿蒸气通过一个 U 形管，这个 U 形管浸在装有热水的真空烧瓶内。其他的乙醚增温装置中，包括平森（K. B. Pinson）在 1921 年描述的平森乙醚“弹”。

从 19 世纪中期开始，乙醚诱导麻醉时返回呼吸的作用从起就为人们所认识。1863 年，克洛弗（J. T. Clover）发明了在封闭装置中提供乙醚的早期设备。由于二氧化碳是一种有价值的呼吸兴奋剂，所以没有必要把它都清除掉。为此，霍尔丹（J. B. S. Haldane）和 Y. 亨德森（Yandell Henderson）提出了科学根据。通常来说，二氧化碳占大气成分的 0.04%，如果存在 5%的二氧化碳，呼吸的深度便会立即提高。到 20 世纪 30 年代，装有事先准备好的 5%二氧化碳和 95%氧气混合气（碳合气）的气瓶付诸应用。其他容器包括小型便携的“火花”装置，以及较大的称作“卡贝莎”的装置。这类装置可使二氧化碳的比例从 3%升至 7%，氧气量的比例也随之发生相应的变化。

二氧化碳对于呼吸具有双重调控作用，既可以作为兴奋剂，又可以增加乙醚的麻醉作用。手术后出现的不规则呼吸和外科休克的紧急情况，均可以用二氧化碳来处理。

1338

1928 年，卢卡斯（G. H. W. Lucas）和 V. E. 亨德森（V. E. Henderson）首次发现环丙烷，1933 年首次投入使用，1934 年硫喷妥钠问世，显示出这些化学物质是 20 世纪通用麻醉药最为主要的希望。手术过程中的深度麻醉不是最理想的方式这一发现，以及上述化学物质并不刺激黏膜的事实，也使得这些化学物质的应用日趋普遍。在静脉注射过程中，硫喷妥钠能较快松弛肌肉的特点，使得它在麻醉方面具有更特殊的用途。1942 年用于临床麻醉的箭毒，具有明显的松弛肌肉的特点。肌肉松弛剂是 20 世纪在麻醉剂方面所取得的重要技术进步之一，许多这方面的药物在 20 世纪 50 年代问世。

麻醉剂的安全问题　掌握和应用麻醉剂所出现的种种问题，在整个 20 世纪一直困扰着这个行业里的专家们。同一标准的橡皮管为装有氧气和其他气体的气瓶的交替提供了可能，但也对患者的安全造成了威胁。第一次世界大战期间，在英国的一些基地医院里发生了一些事故，经常出现紧急情况。为了避免气体混合的问题，每一种气瓶都

用特定颜色标出，一氧化二氮是黑色，绿色代表二氧化碳，氧气则用白色标记。这种办法尽管简单，仍然需要作出极大努力方能实施。直到 1953 年，国际上对容器的颜色才达成协议，一氧化二氮容器为蓝色，氧气容器是白顶黑身，二氧化碳容器为深灰色，环丙烷容器为橙色，乙烯容器为紫色，氦容器为褐色，气体的名称和记号都标在气瓶的肩部。由于英国和美国所标的颜色有些不同，两个国家的生产厂家、技术人员和麻醉师们经历了一段困难时期才逐步采用。两年后，英国卫生部要求，在国家医疗部门所用的不同气瓶和流量计之间，应使用不能互换的连接器。

为使麻醉器气体不致被误用而进行适当的容器配置和颜色的标准化，是一个操作上有难度的实例。这种可能导致安全意外的情况，如果没有灾难性事故的刺激，没有来自政府的要求及强行改变设备的援助，医生和医疗工业部门是无法克服的[25]。

乙烯、乙炔、环丙烷、氯乙烷和乙醚的爆炸是另一种危害，它带来的威胁向 20 世纪延续的技术管理提出了要求。来自于驱动骨锯和抽吸泵等装置的电动机的静电和火花，是这些气体起火事故的根源。自燃的危险也存在，特别是乙醚和一氧化二氮，因为这些气体分解时便产生氧。

1339

在做切割和烧灼组织——特别是进行口腔和上胸部手术时，使用高频电流危险性最大。这种外科技术可应用于更有效的手术中，但对于易爆的麻醉气体必须更仔细地加以控制。

1923 年 3 月，纽约市长老会医院在使用乙烯—氧混合气时，爆炸问题更为突出。在经历数次非致命的爆炸后，联邦爱迪生公司对手术室进行了研究，提出将手术室中的设备同工作人员脚下的地面用金属线连接起来，以便防止点燃气体时产生静电火花。大概在 1950 年，静电器在美国诞生，这种装置能在危险的电荷放射火花之前便获得警报，对于干燥条件下增强静电放电十分重要。1947 年，

邓洛普（Dunlop）公司将第二次世界大战期间用作飞机轮胎的导电型橡胶做成管状，应用在麻醉机上。事实证明，导电橡胶缩减了高位电荷积累的危险性（高位电荷的积累有可能导致在气体附近产生火花）。

到1929年止，在美国332721次乙烯的应用中，至少发生了10次爆炸。到1953年，美国用乙醚、乙烯和环丙烷作麻醉剂时发生爆炸的比例，大致为十万分之二至十万分之四。在英国，由麻醉剂爆炸而造成的烧伤病例估计有100个。为对易燃或易爆气体混合物在相互作用之前进行探测，美国研制出了蒸气测试仪。这种仪器是一个带有平衡电路的惠斯通电桥[26]，能够在发生反应前探测到易燃或易爆的气体混合物。

到1955年，当氧气瓶是空的或堵塞时，切断充氧成了最大的危险之一。为此，当时在手术时放置一台仪器，当氧气瓶的压力降低时便会发出警报，以使麻醉师意识到危险已经迫近[27]。

1340

那些开发麻醉气体并应用于医疗的专门人员称为麻醉师。这一领域的成长是缓慢的，不过在欧洲的发展却比较快。20世纪上半叶，在美国的医院中，实施麻醉的工作经常由护士和学医的学生来承担。1904年，最早的专职麻醉师之一——巴尔的摩的戴维斯（Griffith Davis）正式任职。在随后的10年中，出现了6位专攻麻醉技术的医生。

54.6 心电图描记器

心电图描记器是用来测试和记录心脏电位变化的。1901年和1903年，荷兰的艾因特霍芬（Willem Einthoven）对第一台成功的机器——弦线检流计进行了描述。在此之前，就有人把心脏跳动和电现象联系起来，并使用仪器来测量心跳。1877年，瓦勒（Augustus Waller）成功地应用了李普曼（Gabriel Lippmann）在1872年设计的毛细管静电计。艾因特霍芬使用毛细管静电计和弦线检流计所做的清晰

准确的记录，令临床医生们心悦诚服。1924 年，艾因特霍芬获得了诺贝尔医学奖。他在获奖演说中指出，他本人的成功应归功于刘易斯爵士（Sir Thomas Lewis），因为后者推进了心电图机在医疗业的产生。最终，弦线检流计用于视网膜、骨骼肌、平滑肌和神经动作电位的测量。

最初的艾因特霍芬弦线检流计包含一条悬于电磁两极间的镀银石英丝，可以提供连续不断的磁场。来自心脏以及从体表获得的电流通过石英丝进行传导，并在其周围产生多个磁场。两个磁场的相互作用，使得在磁场中处于直角位置的弦线产生偏斜。由强光束照射形成移动弦线的阴影（光线穿过在电磁铁两极间钻成的小孔），聚焦于一块匀速移动的摄像玻璃底片上。在英国、奥地利、德国、法国和美国的调查表明，这种仪器是有需求的。

在同德国慕尼黑的埃德尔曼（Edelmann）父子公司商谈受挫之后，艾因特霍芬请达尔文（Charles Darwin）最小的儿子——伦敦剑桥科学仪器有限公司的创始人霍勒斯·达尔文（Horace Darwin）制造这种仪器，生产了较小且有销路的弦线检流计。其间，艾因特霍芬担任公司顾问，直到 1927 年去世。第一台样机在 1908 年问世，3 年后第一台台式样机研制成功。到第一次世界大战爆发时，已经有 35 台弦线检流计供应医疗和研究部门。

科恩（Alfred S. Cohn）首次将埃德尔曼制造的弦线检流计带到美国，1909 年安装在纽约的洛克菲勒医疗研究所。1914 年，他要求在美国制定第一台弦线检流计，威廉斯（Horatio B. Williams）完成了设计工作，纽约市医学院生产车间的技师欣德尔（Charles F. Hindle）完成了制造。欣德尔组建了他自己的欣德尔仪表公司，从 1914 年至 1921 年制造了 3 台心电图描记器样机。1922 年，欣德尔公司与纽约坎布里奇仪器公司联合，更名为美国坎布里奇仪器公司。

1929 年，卡西迪（Cassidy）和霍尔（Hall）进行了一些技术方面的

改进工作，例如进一步缩小电磁铁的体积，生产出更小的、便于携带的心电图描记器等。继制造出80磅重的心电图描记器后，坎布里奇仪器公司在1928年又制造出一种30磅重的装置。这样，艾因特霍芬原来重达600磅的弦线检流计，现在的重量只有1/18，主要是由于使用了特殊磁性钢。

放置在体表探测加速电流的电极也采用了较小的形式。艾因特霍芬原始电极由充满电解质溶液的大圆瓶组成，这种装置一直沿用到20世纪30年代。1920年，科恩对它进行了改进，用金属薄片作为电极，外表面由橡皮片覆盖，把电极同人体表面连接起来。巴伦（S. L. Barron）设计了另一种形式，将一块柔软的网状铜片密封于浸满电解质溶液的法兰绒套中。目前所使用的电极是用德国银制成的直接接触板型，自1930年起便由纽约坎布里奇仪器公司生产。为降低皮肤的阻抗，浸透盐溶液的纱布包在电极放置的部位。1931年开始，电极通常要放置在心前区，寻找一些例如用软肥皂（油酸钾和甘油）、水和滑石粉摩擦皮肤等的其他方法，此时变得更加必要。

为了记录心脏运动的特性曲线，放大心脏产生的微弱电流是必要的。20世纪20年代，用于这一目的的电子管（真空管）出现，为更耐用且不易波动的达松发（d' Arsonval）电流计取代弦线检流计创造了条件。1934年，德国的西门子（Siemens）和哈尔斯科（Halske）公司开发出一种放大心电图描记器。随后，美国通用电器公司制造出可使心脏电流放大3000倍的心电图描记器。

在放大仪器出现的同时，钢笔记录或直接记录的仪器也应运而生。这种仪器由瑞士的迪肖萨尔（P. Duchosal）和吕蒂（R. Luthi）在1932年最先设计出来，并由赫利格（Hellige）仪器公司制造成功。尽管直接记录的心电图描记器会使心电图变形，不过自第二次世界大战以来，它还是为人们所接受。把阴极射线管加到心电图描记器上，人们便可以在实验室、手术室、心脏病病房、诊所和教室对心脏的电活动进行

连续监测。1950年，纽约的坎布里奇仪器公司装配了一台手术室心脏窥镜，用以记录手术过程中心电图的变化。

1945年，为了记录心腔内的心电图，法国研究员朗伊热（J. Lenigre）和莫里斯（P. Maurice）进行了把电极放置到心脏导管末端的尝试。

关于一位患者的诊断报告提出，奎宁可以制止他的心律失常。针对这一情况，维也纳的文肯巴赫（K. F. Wenckenbach）在他的患者服药后，都安排进行心电图测试。依据心电图的显示，在服用奎宁前的心房颤动，服药后变为正常窦性节律，有效证明了奎宁在处理心律紊乱的过程中的有益效果[28]。

心脏电记波照相术 到1950年，在20世纪后期所应用的相互结合方法（例如荧光镜透视法、X射线电影摄影法和X射线记波法）中，只有透视法广泛应用于临床。1945年，X射线记波器的X射线机和心电图的附件被设计出来，试图“为以曲线形式记录患者心脏和大血管的运动提供可能”。这套附件共有3个部分，X射线透视机用于观察心血管的轮廓，在可供选择的部位确定安放电记波照相仪的位置，电动记波仪把那些部位的运动和密度的变化转换为相应的电流变化，心电图描记器用于记录在铋纸上移动的变化，借以获得电波记录图。

大约在10分钟内产生的12次记录结果，说明实际接触射线曝光的时间不到5分钟，这个数字是令人信服的，结果低于安全界限。直到1950年，电记波照相仪在临床的应用尚未确定下来。不过，它在研究心血管系统生理学方面的价值已经得到证实。只是要评价它在临床上的应用，尚需更多的证据。

大约在1950年，坎布里奇科学仪器公司和马萨诸塞的桑波恩（Sanborn）公司制造了电记波照相术相关的装置。这一装置还可作为投影心搏计中的光电容积描记器和记录仪，记录消化和呼吸系

统的运动[29]。

54.7 测谎器

除了用于诊断和治疗，为医疗目的而设计的仪器还用于侦察犯罪等领域。由连续记录呼吸和血压波动的仪器发展成的多种波动描记器，通常称为“测谎器”。

基勒测谎器由美国人马斯顿（W. M. Marston）、拉森（John A. Larson）和基勒（Leonard Keeler）负责研制，1935年由西北大学法学院的英博（Fred E. Inbau）制出图纸。这台仪器共包括3个部分，第一部分记录呼吸的变化，第二部分记录脉搏波和血压，第三部分记录血压的重复曲线，或记录脉搏和腿部肌肉的松弛程度。英博写道：

为了获得人体的这些反应，需将一个橡皮管（呼吸描记器）放在人的胸部周围，将一个医生们常用的血压袖套紧固于上臂，然后将气充至收缩压和舒张压之间。直径约为1/4英寸的空心橡皮管，从呼吸描记器和血压袖套通向连接触针的金属气圈。触针的末端呈杯状，里面装满墨水。当记录笔随着脉搏波和呼吸运动而波动时，墨水便可以得到供应。随着由小型同步电动机驱动图纸的缓慢移动，记录结果便产生了。

这种测谎器由法律执行部门使用。心理学实验室使用的“测谎器”还包括一个电流计和一个惠斯通电桥，后者是用来测试通过全身的微弱电流而产生的皮肤阻抗变化的。

在测试过程中，被测试人的生理反常可在其接受毫无关联的问话阶段——“控制”阶段得到补偿。测谎仪在提供犯罪个体相关生理数据方面的准确性取决于主考人提出相关问题和解释生理记录的技巧[30]。除了纯粹的技术问题之外，还增加了其他法律方面的问题，

例如证据的可采性。

54.8 血压测量仪器

脉搏的不规则从古代起便引起了人们的关注，但借助仪器系统地研究这一问题还是19世纪的事。自1733年初黑尔斯（Stephen Hales）将9英尺长的管子直接插入一匹马的小腿动脉测量血压开始，量血压的仪器逐渐演变为如今内科医生的常规器械。为了对血压进行常规测量，有必要寻找一个间接的方法，或者从人体表面能感觉到动脉搏动的器械。

脉搏描记器是早期测量血压的仪器之一，它包括一块紧紧蒙在含有气体或液体小管子（气鼓）上的橡皮膜。反映脉搏波的橡皮膜运动，通过杠杆系统而放大和传导出来。脉搏描记器的问世，大约是在19世纪中叶。达金（Dudgeon）脉搏描记器应用最为广泛，后来为麦肯齐（James MacKenzie）所改进，成了众所周知的“临床多波墨水描记器”。

在为获得间接血压测量计数而寻求可行的临床程序的工作中，维也纳的内科医生冯·巴施（Samuel Siegfried Karl Ritter von Basch）最先获得成功。1876年，他研制成了一套装置，包括一个包扎垫，其中装有一个玻璃漏斗，漏斗上覆盖着一层连接蓄水器和水银血压计的弹性薄膜［图54.4（a）］，用蓄水器中的水将漏斗和导管充满。在应用这台设备时，将包扎垫的薄膜用力压在紧靠骨（颞骨或桡骨）的动脉上，施加在动脉上的压力通过充水系统传送到水银测压计。这样，与手指在压点附近触知脉搏的同时，测压计上的读数便可获知（压力增大时，脉搏消失；压力减小时，脉搏重现），脉搏重现时的读数便是收缩压。

1896年，帕多瓦的里瓦－罗奇（Scipione Riva-Rocci）所取得的进一步成果，便是当今用以测量血压的血压计或仪器的前身。里瓦—罗奇用橡皮管或橡皮箍带缠在人的上臂，并以手控橡皮球对其进行充气

1345

[图 54.4(b)], 橡皮箍带与水银血压计相连。“将橡皮箍带裹在上臂，将空气压入橡皮箍带中，血压便随之上升，直至腕部的脉搏消失为止。当空气释放时，血压计中的水银柱下降。当脉搏重新出现时，刻度上的那个点便是这个人的收缩压。”1901 年，冯 · 雷克林豪森(H. von Recklinghausen)以更宽的箍带取而代之，血压计计数更为精确 [图 54.4(c)]。1905 年，俄国的柯洛特柯夫(N. S. Korotkoff)提出把听诊器置于箍带下，以取代用手触腕部桡动脉。

借助听诊器，4 种不同的声相可以被区别开来。当第一声相出现时，血压计上的读数便是收缩压，后来出现的声相则显示舒张压。收

1346

缩压的读数与排送血液进入主动脉时的心脏收缩一致，这个数值从血

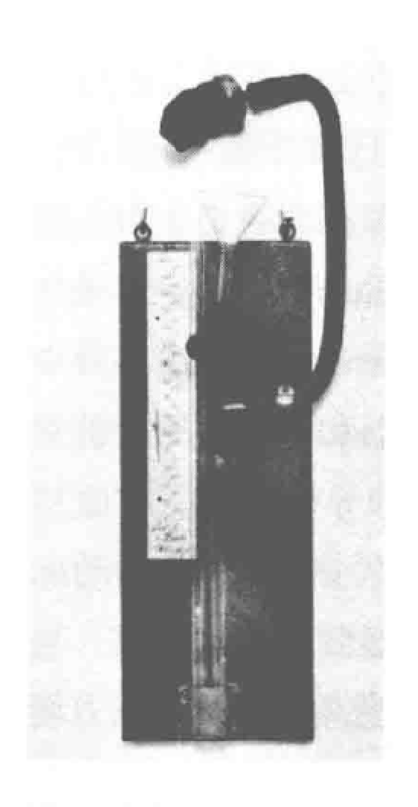


图 54.4 (a) 冯 · 巴施的血压计是第一部用于医疗实践的血压仪器。应用水银血压计，并以充水袋压迫动脉就能测量血压。1876 年。

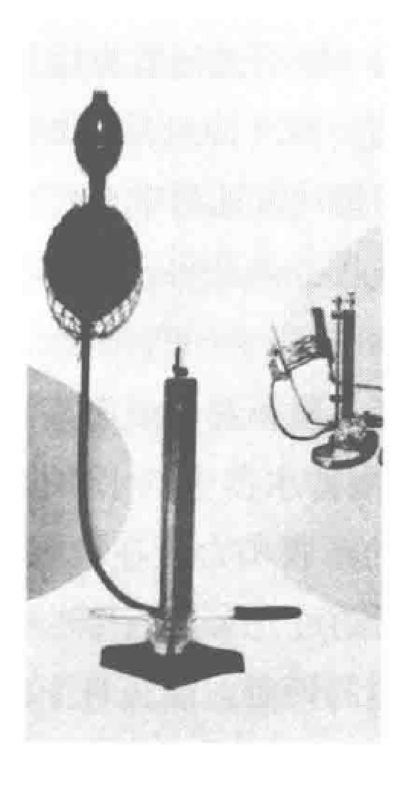


图 54.4 (b) 里瓦 - 罗奇的血压计采用了充气式手臂箍带，为现今使用的血压计提供了基本构件。1896 年。

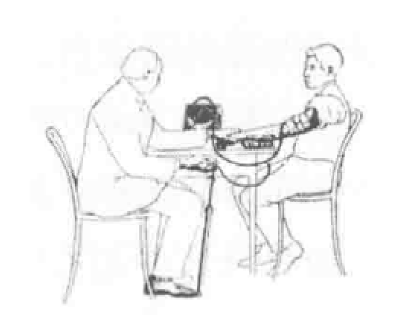




图 54.4 (c) 冯 · 雷克林豪森的血压计使用了更宽的手臂箍带，比里瓦 - 罗奇的血压计更先进。对于研究工作，这种血压计非常精确、可靠且适用，但由于过大而不便于日常医疗使用。1908 年。

压计的水银移动数量显示中获得，舒张压是心脏接受来自肺静脉血液时舒张的压力。

自 1903 年起，医疗研究工作者同约翰斯·霍普金斯大学（Johns Hopkins University）的库克（H. W. Cook）和比格斯（J. B. Biggs）（这两人用英语写出了第一篇内容详尽的文章，论述了血压测量和临床应用等问题）一起，呼吁建立血压读数的正常和异常的界限。收缩压和舒张压的正常值，应以 1910—1950 年间收集到的为数众多的成人和儿童的人寿保险数据为依据。最早发布的数据资料之一是以 19 339 个人的血压数值为依据的[31]，由威斯康星州密尔沃基（Milwaukee）西北互济人寿保险公司的费雪（J. W. Fisher）在 1914 年提供。

54.9 听诊器

在 20 世纪上半叶的 50 年里，听诊器是临床医生的象征。为使听诊器在探测范围更广的声响方面发挥更大作用，有必要对它的材料和结构继续改进。听诊器的设计与结构之间的相互影响，以及对胸腔和腹腔多种声响重要意义的认识，都体现出这一仪器的发展。

1816 年，拉埃内克（René Laennec）将有关听诊器的构想付诸实践。他首先使用了一个卷紧的纸筒，后来又采用更坚实的木质圆筒，直径为 3.6 厘米，长为 28.8 厘米，一端为 3.6 厘米高的漏斗形。拉埃内克还用金属、硬橡胶、复合纸及其他材料，制造这种式样的听诊器。

20 世纪初，单耳听诊器开始使用。耳塞可拆卸的木质听诊器能够平放在口袋内，价格不高，为学生们所广泛使用。直到 20 世纪 50 年代，在欧洲才使用装有镀镍钢管和硬橡胶耳塞的听诊器。

1850 年以前，双耳型听诊器在巴黎和伦敦开始出现。1851 年，李尔德（A. Leared）医生在国际展览会上展出了双耳听诊器。它由两根与听诊器胸件和耳塞相接的古塔胶管制成，管子的弹性可使其保持适当的位置。

1347

1853年，居住在纽约的美国医生卡曼（George Camman）设计并制造了第一个临床使用的双耳听诊器，并在1855年对这种听诊器进行了描述。早期商业化的听诊器装有由象牙精制的各种尺寸的听诊器胸件，柔软的导管由包着丝料的经过弹性处理的螺旋形弹簧线制成，并由一个弹簧固定起来。弯曲的金属耳管固定于有铰链的横档和象牙的顶部，以便插入耳内。早期出现的听诊器包括胸音听诊器、报话两用机、水中听音器和扩音听诊器，它们便是被称为"共鸣听诊器"的嵌膜式听诊器的雏形，与不折叠的硬架和橡胶管同时应用的简单听诊器胸件成了标准模式。钟形胸件通常装有手托，早期的听诊器胸件由抛光的木头、乌木、象牙、金属、橡胶、瓷和其他材料制成。

嵌膜式听诊器胸件是鲍尔斯（R. C. M. Bowles）发明的，并在1898年获得了专利，1901年造出了刚性的隔膜膜片。最初，这种隔膜形同熨斗，后来才变成当今所使用的圆形式样。大约在1910年，半圆形的听诊器胸件出现了，可以较为容易地置于衣下及患者和床之间。钟形胸件和嵌膜片的听诊器胸件是在伦敦盖伊斯医院（Guy's Hospital）设计出来的，它和其他金属部件一样需要橡胶防冷垫。

1935年出现的卡帕克（Capac）听诊器是广为使用的现代听诊器，它有两种具有多种用途的式样，A型为家庭医生所用，B型用于手术过程。A型听诊器有一个凹面的锥形尾端的轻金属听诊器胸件（固定有橡胶防冷垫，并与重量很轻的胶管相连），B型听诊器则具有卡帕克仪器独有的特点，包括一个耐损的圆形内隔膜。卡帕克听诊器提供了清晰的、无干扰的音响效果，头部框架是一种自行调整的刚性式样，对耳朵的压力也是理想的。

听诊器胸件在拾取音响方面独具特色。哪怕容量很小，钟形的听诊器胸件，也能最大限度地听到心脏的声音，特别是能听到较低的二尖瓣舒张时的杂音。主动脉瓣功能不全所产生的早期杂音，可由隔膜产生的高频音响获知。通过钟形胸件听到的音响较之通过隔膜听到的

更为纯净，但这两种功能的听诊器胸件都是理想的。

波士顿的斯普拉格（Howard Sprague）在1926年首次描述的现代钟形胸件及隔膜合一的听诊器胸件，是由费城乔治·P.皮灵父子（George P. Pilling and Son）公司制造的。转动一个阀，便可更换听诊器胸件。梅里狄斯（Meredith）双功能听诊器上有一个可旋转的听诊器胸件，钟形胸件和隔膜相对置于其内，在一个中心腔内转换（听诊器导管与其相连）。最新的隔膜是由约0.38毫米厚的硬塑料制成的。1951年，拉帕波尔（M. B. Rappaport）和斯普拉格提出，听诊器中的空气量应保持最小值。作为这个提议的结果，圣乔治医院或利瑟姆（A. Leatham）1958型听诊器导管的管腔只有3毫米。穆辛（W. W. Mushin）的隔膜是细长的，配有胶木垫片。钟形听诊器胸件可能用尼龙和金属铝制造。

头件与听诊器胸件一样品种繁多，固定弹簧型便是最早的种类之一，可能还会有其他的类型。折叠的头件各自不同，短双耳型较之宽耳型更为舒适，两折头件听诊器更适用于那些希望将其装于小袋的医生。耳塞或细部由金属、象牙和木头制造，塑料制造的头件容易碎裂，最舒适的类型由尼龙螺纹状织品制成。听诊器导管通常用橡胶制作（早期的，例如1918年间制造的一种是由波纹状金属管制成的），通用的管腔尺寸为3—5毫米[32]。

1936年，克尔（William J. Kerr）研制成用于单侧和进行音响比较的复合或双相听诊器，这确实是引人瞩目的进步。在双耳听诊器里，声音仿佛来自医生前面的一个点，克尔的听诊器的声音则来自两个不同的点。还有一种两侧听诊器是由两个金属隔膜听诊器胸件组成的，与金属横档和直管悬垂下的两根等长橡皮管相接，横档的另一端是连接金属耳塞的两个短橡胶管。为有效地使用这种仪器，好的听力是基本的条件。

听诊器对诊断心脏疾病具有重要作用。心电图、X射线、心音图、

心血管造影和心脏导管插入技术，是辅助的诊断手段[33]。

54.10 听觉仪器

大约在1920年，听度计的出现使得准确、标准地测量听力成为1349现实。在此之前，听力是由音叉、表声、高尔顿(Galton)笛和测听计来测定的。听度计比其他所有相关方面的仪器更优越，因为它能标记出宽域声源的频率和强度，例如有一种听度计可以测出64—16384赫的声音[34]。

1919年，高低音域的听度计来由爱荷华州立大学的邦奇(Cordia C. Bunch)和迪安(Lee W. Dean)研制出。其他的听度计还包括谢弗(K. L. Schaefer)、格鲁施克(G. Gruschke)和格里斯曼(B. Griessman)等设计的阀式听力测试器，也是这一年在柏林耳科学会进行了演示(这些听力测试器便是后来由西方电气公司研究实验室生产的商业化听度计的前身)。第一部听度计——1-A型由弗莱彻(Harvey Fletcher)和福勒(Edmund P. Fowler)在1922年提供，手提式的2-A及3-A、4-A和5-A型听度计随后相继出现。

1939年，美国医学协会理疗委员会确定了听度计公认的最低标准。正常的听力临界值，则以多数年龄在18—30岁成人听力的常见值为标准[35]。

助听器 两种个人电力助听器是石墨和电子管助听器，它们包括一个将声压变成电能的话筒、一个增加电能强度的扩音器和一个将1350放大的电能又转成加大了声压的接收器。1936年起，微型收音机和电子管用于助听器中。话筒和微型耳机通常由逻谢尔(Rochelle)盐类晶体制造，电子管仪器再现的声音更清晰，外部杂音更少。1948年，助听器得以进一步改进，因为晶体管的使用让助听器的体积更小，效果也更好(图54.5)[36]。

耳朵的检查由装有电池的检耳镜来完成，可以通过塑料或金属制

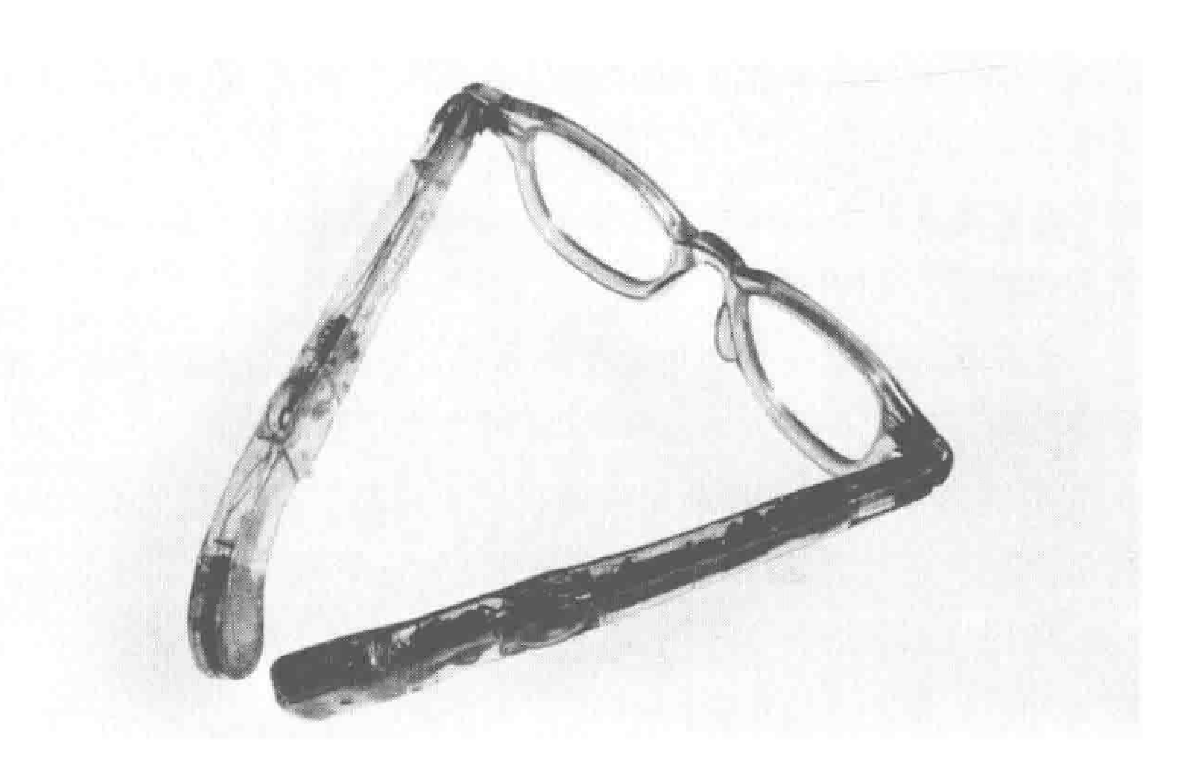


图 54.5　镜架上装有助听器的眼镜，约 1957 年。

的漏斗形反射镜塞入耳道中。这种仪器带有手柄，能够握在手里。它的顶端装有一个 2—3 倍的放大镜头和一个光电管，在使用时必须注意卫生[37]。

54.11　显微术

20 世纪，在细菌学和病理学的研究过程中，显微镜提供了疾病的基本证据。20 世纪 40 年代，电子显微镜开始应用。到 20 世纪中期，电子显微镜的临床重要性表现为能观察抗体和细菌及病毒的表面构造，能鉴别密切相关的病毒[38]。与众所周知的光学显微镜相比，这项技术上的优越性在于电子运动时就像波长极短的波，能够得到令人满意的高倍放大分辨效果。

1931 年，教科书《显微术的最新进展》(*Recent advances in microscopy*) 的编者写道："在医学实践和探索中使用显微镜是十分重要的，因为当代的进步主要是对技术的改进和对微细结构的新发现。"[39]同年，电子显微镜问世，它将为医学探索者们揭示最微细的

结构。1931 年 5 月 30 日，德国西门子 – 舒科特（Siemens-Schuckert）公司的研究室主任鲁登贝格（Günther Reinhold Rudenberg）将几个电子透镜（磁透镜或静电透镜）结合起来，当作一台电子显微镜来使用，并就此提出了专利申请。

电子显微镜是一台通过电子束获得光学影像的装置，由电磁透镜聚集的电子束提供光源。1950 年，通过光学显微镜获得了小到 0.2 微米的精确影像。通过电子显微镜，则可以观察到直径为 0.01 微米的有机微粒和直径为 2 纳米（0.002 微米）的密集微粒。

1351

在用电磁场聚集电子方面，历来存在着工艺问题。1982 年 12 月，比利时利布勒（Libre）大学马顿（L. L. Marton）的功能电子显微镜诞生，使得这个问题得以解决。马顿描述说："显微镜的主体是一个直径为 2 英寸、长度 1 英尺左右的铜管，单透镜包括可以沿铜管滑动的线圈，一个平行钨线圈和铜管（作为正极）便是电子源。荧光屏装于另一端，用于目力观察和外部摄影。用变化位置的装置将标本载片放入铜管内。"这种仪器必须打开使用，以调换标本及其位置。

1934 年 4 月 4 日，马顿用他的第二台显微镜［图 54.6（a）］制成了第一部生物标本显微放大器。1937 年，马顿用他的第 3 台显微镜观察了细菌，并将一部细菌显微放大器公之于世[40]。

适合显微镜观察的脱水物质切片的专门技术是必不可少的。早期的技术中，包括含锇浸渍组织培养的准备技术、"电子染色"技术和影像技术（例如为获得更大对比度三维影像而投射的金属阴影）。1944—1945 年，为获得电子束低量穿透力所需的特别薄的切片，纽约公共化学公司研究实验室的工作人员制造出切片厚度仅 0.1 微米的高速切片机。实验证明，切片的厚度和切削速度成反比。以前切片刀的速度为每分钟 100 英寸，新的切片刀的速度为每分钟 35.6 万英寸，足以取得理想的组织切片。事实上，这种机器的速度还能更快。待切的标本需包埋于火棉胶、石蜡或各种塑料膜材料中，以经过纯化、易

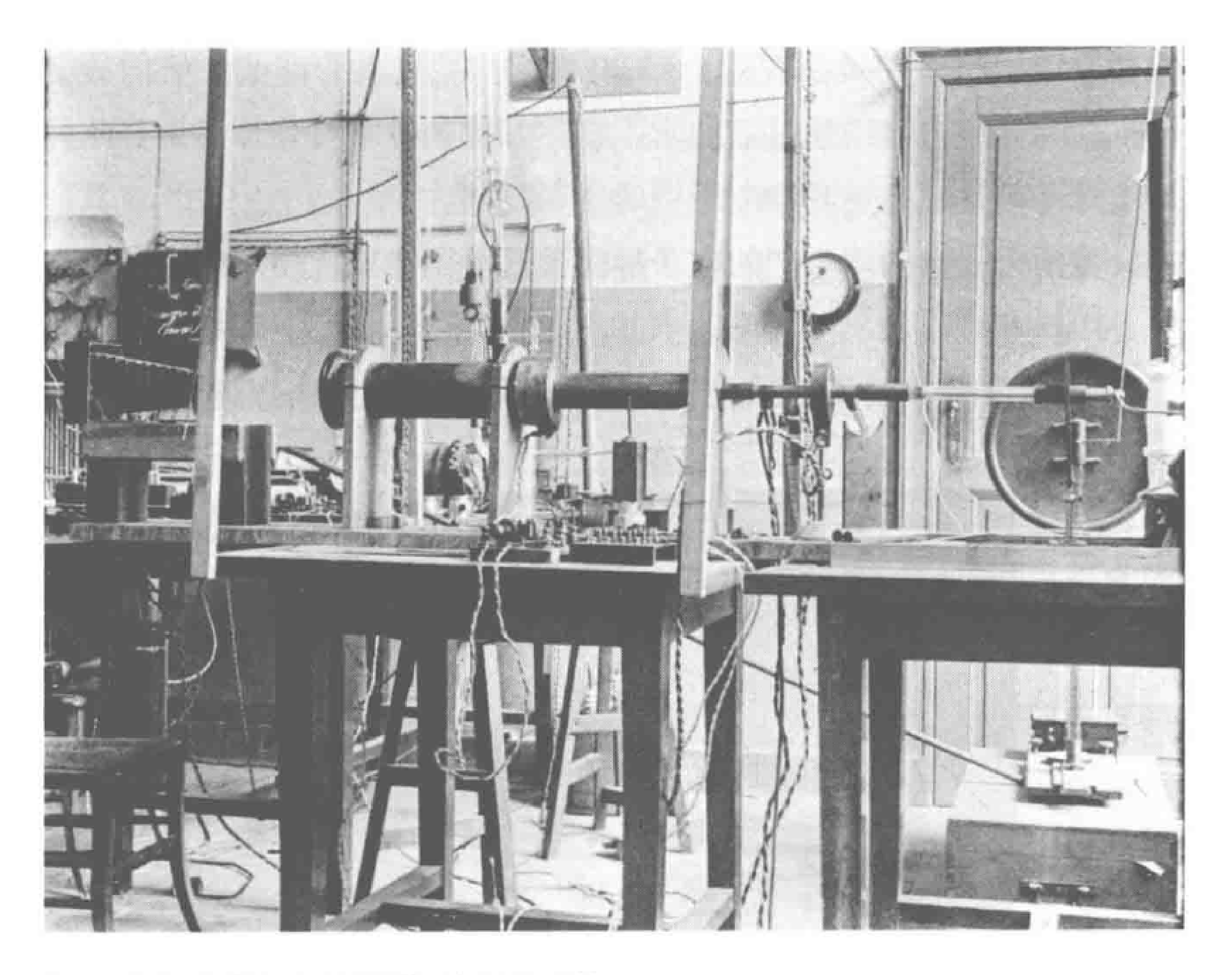


图 54.6（a） 比利时 L.L. 马顿的第二台电子显微镜。

于挥发的材料最为合适，樟脑和萘的混合物是令人满意的包埋物。制作肝标本时，尚需以四氧化锇固定。收集切片时，在一个装有切片机的盒子底部放上有喷镀物的玻璃片或网罩，然后使切片像粉尘般落定在上面。观察标本时，需将石蜡从带有混合二甲苯的切片上完全清除[41]。

早期商品化电子显微镜的生产，始于一些主要的电气企业。1936年，英国曼彻斯特的大都会-威卡斯（Metropolitan-Vickers）公司进行了一次失败的尝试。9 年后，这家公司重整旗鼓。此时，德国西门子和哈尔斯克公司、德国的 A.E.G. 和美国无线电公司（R.C.A.）已经相继制造出样品。为了使商品化成为可能，电子显微镜需要完善，使它既能由未经培训的人操作，并且理解它的精细结构，还能受技术高超

1352

的显微镜工作者的灵活控制。到20世纪中期，具有商业价值的显微镜样品的分辨力已经超过5纳米，在更好的条件下可达2纳米。此外，球面像差仍是磁透镜和静电透镜的主要限制。

美国无线电公司生产的电子显微镜是美国早期优质电子显微镜之一。1941年，在希利尔（James Hillier）的指导下，B型显微镜［图54.6（b）］拥有了优良的调校系统和上好的万斯（A. W. Vance）动力装置[42]。

1353



图54.6（b） 美国无线电公司B型电子显微镜。马顿（右一）正在给学生们演示，约1950年。

几部早期显微镜现为史密森学会(Smithsonian Institution)所收藏。

显微镜与外科 最早的时候，医生们用显微镜来观察人的眼部和耳部组织。1922年，在给霍姆格伦(L. Holmgren)做中耳开窗术时，首次使用了立体显微镜。1946年，芝加哥的佩里特(Richard Perritt)成为第一个用立体显微镜进行人眼手术的眼科医生。由于立体显微镜相当精密，手术时损伤组织的风险大大减少。继蔡司(Zeiss)公司在1953年研制出阴道内镜后，其他领域的显微外科纷纷效仿。这种仪器使用的便利，导致了其他专家们发明了微血管外科一类的技术(1960年)。曾一度面临更新的问题并遭到批评的外科治疗技术，被这一改进推上了成功的新顶点。

19世纪，专家们围绕三维空间观察标本的立体显微镜进行了研讨。1897年，著名透镜制造人蔡司(Carl Zeiss)成功地制造了一台透镜。1892年，居住在巴黎的美国人格里诺(Horatio S. Greenough)写信给阿贝(Ernst Abbé)及其助手恰普斯基(Siegfried Czapski)，提出了能显示三维物体(例如他所感兴趣的鸡蛋、种子和其他生物体的发育阶段)显微镜的想法。随后，格里诺的名字被写到了恰普斯基设计并研制的著名的低能量、宽视野立体显微镜上，尽管感到不满和沮丧的格里诺在1907年否认这一仪器是自己研制的。直到1919年，格里诺型显微镜才有所改变，莱茨(Leitz)公司增加了大直径的、易于调校的目镜和更大的物镜。1899年，格里诺显微镜进行水平安装后，便成了检查角膜的角膜显微镜。恰普斯基两用显微镜和1911年前古尔斯特兰德(Allvar Gullstrand)研制的裂隙灯，则为眼科医生的工具提供了基础，从而使一些诊断和治疗的方法得以改进[43]。

1354

54.12 外科学

20世纪普通外科的进步，使得医院成了卫生和医学教育的中心。种类繁多、价格昂贵的医疗设备大有潜力可资利用，例如电气化的手

术室中就有特种灯、电控手术台、空调、电视和其他教学辅助设施，以及各类仪器的电源插座，这些均在1933—1934年美国举办的国际卫生展览会上进行过展出[44]。这套设备是为未来设计的，真正付诸应用还是20世纪50年代的事。

麻醉术的进步和感染危险性的真正消除，为有效的外科手术所必备的特种技术提供了必要条件。这些基础条件满足后，各类特种外科器械和家庭及医院用的术后观察设备，令人难以置信地相继出现。诚然，像19世纪末生产的那类普通手术器械在当时依然存在，并且还是必要的。

首先，我们应该讨论在预防和控制感染方面所获得的成功。1914年，在法国巴黎军队医院工作的达金（Henry Drysdale Dakin）和卡雷尔（Alexis Carrel）对数以百计的杀菌物质进行实验后，发现了一种有效的含氯化合物，这便是中性次氯酸钠溶液（俗称“达金溶液”）。如果每天使用这种溶液，便能有效地杀死细菌和溶解坏死的组织。这种溶液在治疗外伤和手术伤口方面应用了几十年，直到1935年才被德国人多马克（G. Domagk）发现的红染料（百浪多息和新百浪多息）所取代。一年后，活性成分对氨基苯磺酰胺又取代了红染料。最后，具有革命意义的抗生素青霉素问世了。青霉素是弗莱明（Alexander Fleming）1927年在英国发现的，20世纪40年代初期又经弗洛里（H. W. Florey）和钱恩（E. D. Chain）的工作得到进一步发展。1944年，为供应地中海地区的盟军部队，美国首次大量生产青霉素，随后不久又有多种抗生素出现[45]。

1355

在19世纪后25年间，由于人们对细菌的基本重要性普遍有了认识，开始出现了对医疗和手术器械、医院服装、纱布等进行消毒的器具的需求。作为利斯特（Lister）、巴斯德（Pasteur）和科克工作的直接成果，最早的压力消毒器在法国和德国制造出来。J.E. 霍尔（J. E. Hall）和 乔治·霍尔（George Hall）在1894年创建的

美国公司，到了 1902 年成为宾夕法尼亚州美国伊利消毒器具公司。第一次世界大战期间，政府和部队对消毒器具的大量需求刺激了这家公司的发展。1943 年，它的 85% 产品是为了满足政府的合同。1945 年，重新组织了供应系统，其中包括出售现货。当时，美国消毒器具公司（Americon Sterilizer Company）是医用消毒器具的主要供应商。到 1950 年，公司的雇员达 670 人[46]。

第一次世界大战期间的旺盛需求，使得消毒纱布这一产业得以扩大。两次世界大战中，像水苔一类较早用过的材料重新在英国使用，并被视为吸收性高的材料。一种叫作“油膏纱布”的绷带（涂有石蜡的棉布，以防止与伤口粘连）在第一次世界大战期间重新恢复使用，并在 20 世纪 30 年代后期得到普遍推广。到 20 世纪 50 年代，塑料一类的新材料改进了伤口的包扎。用于手术切口的纱布是由防水和不吸水的塑料制成的，由于它具有透明性，人们可以通过肉眼观察它所覆盖的缝合部位，便于保持伤口周围组织的清洁[47]。

最普通的缝合伤口的材料是羊肠衣（羊肠黏膜层下的肠壁）制成的卷线（习惯上称为肠线，虽然不太准确）。从古代起，肠线就主要是用来将伤口两边固定在一起，直到伤口愈合。不过，它也给消毒带来了特殊问题。为肠线消毒的材料中，包括石炭酸、甲醛溶液和 1902 年问世的碘酒溶液。后来，铬酸成了最有效的消毒材料。肠线的出售者在外科医生的监督下对纯度负责，在手术台上使用的肠线装在密封的小玻璃瓶里。其他的缝合材料中，还包括精制棉线及第二次世界大战后出现的尼龙、涤纶和特氟隆等塑料材料[48]。

1356

由于癌症患者不断增加，X 线、伽马线和镭射线所提供的控制作用又很有限，外科医生们不得不鼓起勇气将肿瘤切除。1900 年，在美国估计有 4.8 万人死于癌症。1950 年，这一数字上升为 216107 人。大多数癌症患者都动过手术，许多人还需要将肿瘤周围的细胞和组织切除。

真正的成功在于对肿瘤的早期发现，并采取相应的控制和治疗措施。1930年，马丁（H. E. Martin）和埃利斯（E. B. Ellis）采用了针穿刺和抽吸组织的活检法。同时，许多用于这一目的的医疗器械相继出现，为医生们切除和检查有害细胞提供了手段。帕帕尼科拉乌（George N. Papanicolaou）研制和推广的“巴氏”涂片检验法在20世纪50年代引人瞩目，因为这种方法能够简易地从可接近部位获取细胞（细胞由粗刃器具剥落），并用于癌症的研究和检查[49]。

心脏外科 20世纪外科成就的精华是胸外科，这一领域是在1930—1950年间发展起来的，恰如其分地揭示了未来的方向。为了进行较长时间的胸内手术，并且最大限度地减少患者的手术风险，合适的麻醉、准确的血型测定、足够的供血、适当的器械，以及体温降低的方法（低温麻醉）（图54.7）和临时加压输血装置或心肺机都是必不可少的。在20世纪50年代，上述这些手段均已采用。

在20世纪，心力衰竭的主要原因之一是心肌内小血管阻塞引起的低氧和心肌坏死。20世纪30年代，贝克（Claude Beck）发展了一种技术，将血管组织移植到血管阻塞的心肌部位上，为失去功能的心肌获得血液供应找到了出路。

通过输血维持血的供应，全靠兰德施泰纳（Karl Landsteiner）对A型、B型、O型和AB型血型的发现。1930年，他借此获得了诺贝尔奖。由于同型血混合具有不凝结的特点，血型相同的输血者和受血者之间的输血成为可能。在第二次世界大战期间（1943年），枸橼酸和枸橼酸葡萄糖钠溶液被用来保存血液，这使得血液贮存或血库变得可行。

1357

在心脏的手术过程中，为保证充氧血输出心脏，人们设计出心肺机。早在1885年，内脏器官就用这类设备灌流过。1952年，首次应用德福雷斯特·道迪尔（Forest Dodrill）心肺机对人进行手术。1955年以后，德沃尔（DeWall）气泡式供氧机是用于心脏手术既安全又便



图 54.7 加利福尼亚州莱克伍德市的斯旺（Henry Swann）1953年左右推出的用于体外循环心脏外科手术的低温设备。将患者从冷冻浴缸移出后，便用热线圈帮助患者体温恢复正常。后面的示波器用以监控体温和心跳。

宜的心肺机[50]。

20世纪20年代，为了直接检查二尖瓣膜，内镜（心脏内镜）被设计出来，心脏导管术也同时显示出重要性。在19世纪80年代以前，进行动物实验时插入导管是常规程序。1929年，这一技术由福斯曼（Werner Forssman）首次应用于人体（他将一导管插入自己的右心房）[51]。福斯曼和纽约的库尔诺（André Cournaud）及理查兹（Dickinson Richards）（后来两人于1937—1940年完善并推广了这一技术）的目的是，通过导管将药物直接注入心脏。将一种射线不能穿透的染料注入心房，再通过X线对心脏、肺动脉和导管进行观察就很容易了。

1358

借助于瓣膜刀，心脏瓣膜的置换得以实现。20世纪40年代，波士顿的胡夫纳格尔（Charles Hufnagel）在彼得·布伦特·布赖格

姆（Peter Brent Brigham）医院首次进行人工瓣膜实验。1952年，在乔治城医疗中心，医生们首次将哈夫纳格尔研制的空心有机玻璃球作为瓣膜装入一名患者的心脏。血液流经气孔时所发出的响声，患者和旁边的人都能听到。不久以后，涂有硅胶的空尼龙球便消除了这种血流声[52]。

神经外科　在很大程度上，神经外科技术要借助通用外科器械来实施。除了吉利（L. Gigli）在1898年发明的钢丝锯（此器具可使医生比较安全地打开颅骨）之外，特殊器械大多是第一次世界大战后发展起来的。例如，腰椎穿刺器具、脑电图装置等其他神经外科器具，都是由伯杰（Hans Berger）在1929年研制成功，并由波士顿的格拉斯公司制造。1947年，用于人脑精密定位的脑立体测定装置被制造出来。对脑外科来说，电凝固法或电外科至关重要，它主要是用高频电流破坏和切除病变，或刺穿正常组织而又减少出血，这种方法是耶鲁的神经外科医生库欣（Harvey Cushing）在20世纪30年代提倡并成功讲授的。1900年，雷维埃（J. A. Revière）应用达松法尔（D'Arsonval）仪器的瞬息放电，治愈了人手上的溃疡。这一偶然发现导致了20世纪50年代前出现的电凝固法，经常用于取代解剖刀和结扎线，从而不必用手接触伤口[53]。

产科学　自17世纪以来的几百年内，产钳发展到百种之多。这种工具能够夹住尚在骨盆中的婴儿的头，但不会压迫它，婴儿出生时能将头部自由转动、舒展和伸屈，并引向合适的方向。不论是国家通用的还是地区使用的，各种各样的产钳都很流行。

纽约市布鲁克林的雅各布森（Arthur C. Jacobson）设计了一种适用于一切器具（尽管只采用了一部分）的模型，并宣称"已经以稳定取代了不稳定，以数学的精确取代了不准确，以规则牵引取代了推测"。

各种模型的流行，使得设计复杂化，从而影响了使用效果。为了

抵制这种倾向，简化的模型在20世纪出现了，其中之一便是雷普曼（W. Leipmann）在1910年采用的轴牵引装置。雷普曼以产钳两个叶片底部上的双带弹簧，取代了用于牵引的金属杆[54]。

1359

泌尿学 1902年，当美国泌尿科协会在纽约成立时，泌尿科专家便对19世纪中叶研制的膀胱镜的潜在价值进行了探讨。1922年，麦卡锡（J. F. McCarthy）设计的直测视镜光学系统和多用内镜成为一项重要的改革。这种仪器能够提供从仪器轴偏斜55度角的视野，从而成了检查仪器和手术器械的先导。

最通用的泌尿器械是用于排石和导尿的导管。20世纪30年代以前，美国应用的所有导管都要从法国和德国进口。1939年，纽约的膀胱镜制造者有限公司推出了一种改进型导管。这种导管由尼龙制成，表面敷有合成树脂涂层，可进行煮沸和热压消毒而不致变质。

1943年，荷兰医生科尔夫（Willem Kolff）采用的人工肾（或称肾透析机）是泌尿科实践中最引人瞩目的革新。这种机器的早期形式包括一个用赛璐玢包绕着的可转动型大金属圆筒，患者通过这个圆筒进行排出废物的血液循环。1950年，这种机器又得以改进，称为科尔夫-布赖哈姆机，而且得到了广泛应用，最后被精制成一个手提式小型装置。到了20世纪70年代，数以千计的肾病患者每星期要使用它两次[55]。

54.13 人工假肢和矫形外科术

显然，人工假肢和矫形装置纯属个体化医疗设备。第一次世界大战带来的人体伤害，为截肢和装配人工假肢提供了第一次集中研究的机会。各国制造的假肢类型均有所不同，但所有的制造工匠都面临着患者腿上的支撑点、膝盖和踝关节的连接结构等问题。由铜或加固的柳木质成的“美国腿”由生牛皮包裹着，上面涂有珐琅，在国际上深受欢迎[56]。

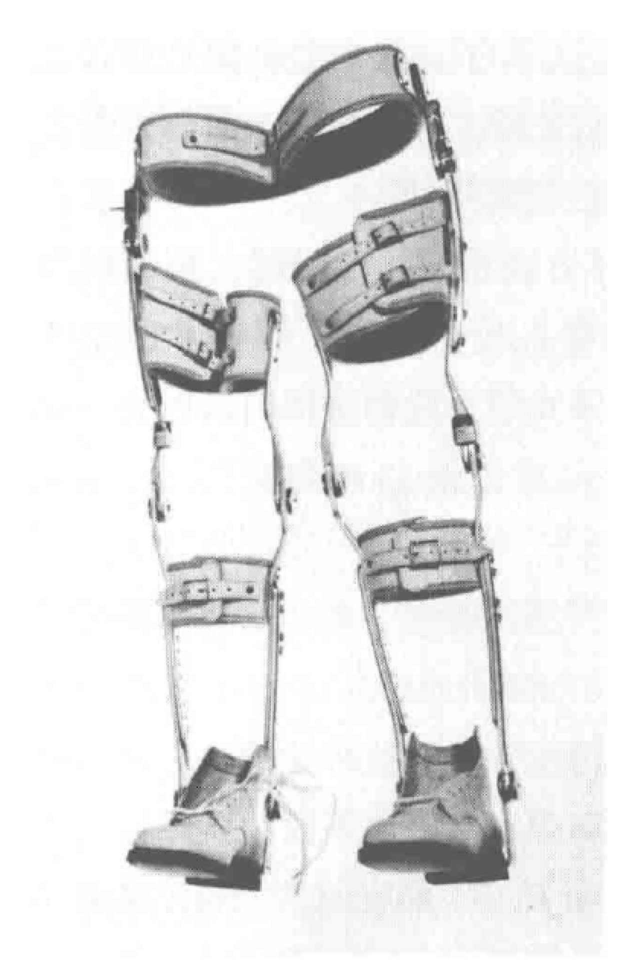


图 54.8　小儿麻痹支架。

工厂里和铁路上发生的伤残事故，导致平民对人工假肢的需求与日俱增。第一次世界大战期间，在法国，用皮革制造紧身胸衣、背带和支架的矫形外科医生被动员起来制造人工假肢。残疾人康复后的生活预期，对假肢种类的供应有着一定的影响。在欧洲，断臂手工工人还希望回到原来的工作岗位，机械臂便被制造了出来。在美国，断肢者可能会变换职业，因此他们还希望装上其他种类的假肢[57]。

为引导骨头和肌肉的生长，矫形治疗需要将手术同合适的具有支撑和纠正功能的装置结合起来（图 54.8）。例如，1888 年设计的托马斯夹板一类的装置，以及 1884 年和 1899 年推出的奈特与泰勒（Knight and Taylor）吊带及塞尔（Sayre）石膏套（1877 年），均得以谨慎应用。到 20 世纪中期，人们对现有的治疗法普遍感到失望。但是，X 线的使用还是推进了上述装置的运用[58]。

相关文献

[1] Truax, C. *The mechanics of surgery*, p.7. Truax, Chicago. 1899.

[2] Curutchet, P. D. *The origin, evolution and modification of surgical instruments*, p.19. Buenos Aires. 1964.

[3] White, S. S. *Eighty-two years of loyal service to dentistry*, p.9. S. S. White, Philadelphia. 1926.

[4] Thorek, M. *Surgical errors and safeguards*, pp.19–23. Philadelphia. 1958.

[5] Fossier, A. E. *New Orleans Medical and Surgical Journal*, 541, 1923.

[6] Truax, C. *Op. cit.* [1] , pp.15–18.

[7] Tiemann, G. *The American armamentarium chirurgicum*, p.xvi. New York. 1889. .

[8] Salkin, R. E. H. *Archives de médecine et de pharmacie militaires*, **86**, 334, 341–342, 1927.

[9] Selivanor, V. I. *Sovetsk Zdravookh*, **30**, 62–67, 1971.

[10] Rothstein, R. J. *History of dental laboratories and their contributions to dentitry*, pp.16, 18, 22, 23, 32, 41, 70–74, 112. J. B. Lippincott, Philadelphia. 1958.

[11] Custer, L. E. *Dental Cosmos*, **41**, 1007, 1008, 1010, 1899.

[12] Davis, A. B. *Texas Reports on Biology and Medicine*, **32**, 146–154, 1974.

[13] Beecher, M. D. and Ford, C. In *Fifty years of surgical progress* (Davis, L. (ed.)) p.225. Franklin H. Martin Memorial Foundation, Chicago. 1955.

[14] Tainter, M. L. and Marcelli, G. M. A. *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, **35**, 393, 396, 397, 399, 401, 403, 1959.

[15] Brecher, R. and Brecher, E. *The rays* : *a history of radiology in the U.S. and Canada*, pp.48–54. Williams and Wilkins, Baltimore. 1969.

[16] Fuchs, A. W. In *Classic descriptions in diagnostic roentgenology* (Bruwer, A. J. (ed.)) vol.1, pp. 92, 108, 109. Charles Thomas, Springfield. 1964.

[17] Quimby, E. H. In *Medical physics* (Glasser, O. (ed.)) p.1166. Year Book Publications, New York. 1944.

[18] Brecher, R. and Brecher, E. *Op. cit.* [15] , pp.64, 111, 138, 154.

[19] Trout, E. D. *Journal of the Ontario Dental Association*, **35**, 33, 34, 35, 1958.

[20] Brecher, R. and Brecher, E., *Op. cit.* [15] , pp.343, 352, 379–384.

[21] Rhinehart, A. *Roentgenographic technique* (4th edn.) , pp.54–60. Lea and Febiger, Philadelphia. 1954.

[22] Johnson, S. L. *The history of cardiac surgery 1896–1955*, pp.56–58. Johns Hopkins Press, Baltimore. 1970.

[23] Watt, O. M. *Anaesthesia*, **23**, 104, 105, 107, 109, 111, 1968.

[24] Hewer, C. L. *Recent advances in anaesthesia and analgesia*, pp.19, 20, 51–53, 55, 93, 102, 113, 114, 137. J. and A. Churchill, London. 1932.
For a detailed history of anaesthetic equipment up to the twentieth century see Duncum, Barbara M. *The Development of inhalation anasthesia.* Wellcome Historical Museum Medical : Oxford University Press. 1947.

[25] Watt, O. M. *Op. cit.* [23] , pp.112–114, 117.

[26] Herb, I. C. *Journal of the American Medical Association*, **83**, 1788–1790, 1925.
Hewer, C. L. *Journal of the American Medical Association*, 90, 1932.

[27] Salzer, M. *Journal of the American Medical Association*, **76**, 2096, 1929.

[28] Burch, G. E. and De Pasquale, N. P. *A history of electrocardiography*. Year Book Medical Publications, Chicago. 1964.

[29] Boone, B. R. and Ellinger, G. F. and Gillick, F. G. *Annals of Internal Medicine*, **31**, 1030, 1031, 1949.

[30] Inbau, F. E. *Scientific Monthly, N. Y.* **40**, 81, 82, 85, 1935.

[31] Master, A. M. and Garfield, C. I. and Walters, M. B. *Normal blood pressure and hypertension* : *new definitions*, pp.11, 27, 28,

31, 45. Lea and Febiger, Philadephia. 1952.
Fisher, J. W. *Journal of the American Medical Association*, **63**, 1754, 1914.

[32] Morris, S. *Practitioner*, **199**, 675–679, 1968.
Morris, S. *St Mary's Hospital Gazette*, **75**, 223, 1969.

[33] Kerr, W. J. In *op. cit.* [17] (Glasser, O. (ed.)) pp.1480, 1484, 1490, 1944.

[34] Reger, S. N. In *op. cit.* [17] (Glasser, O. (ed.)) p.9, 1944.

[35] Davis, A. B. and Merzbach, U. C. *Early auditory studies*, pp.27, 28. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 1975.

[36] Berger, K. W. *The hearing aid : its operation and development*, pp. 23, 34, 51–55. National Hearing Aid Society, Detroit. 1970.

[37] Stool, S. E. and Anticaglia, J. *Clinical Pediatrics*, **12**, 426, 1973.

[38] Mudd, S. *Annals of Internal Medicine*, **31**, 573, 1949.

[39] Piney, A. (ed.) *Recent advances in microscopy : biological applications.* Blakiston, London. 1931.

[40] Marton, L. *Early history of the electron microscope*, pp.9, 16. San Francisco Press. 1968.

[41] Mudd, S. *Op. cit.* [38] , p.577.
Fullam, E. F. and Gessler, A. E. *Review of scientific instruments*, **17**, 25, 30, 1946.

[42] Marton, L. *Op. cit.* [40] , pp.28, 29, 31, 39.

[43] Perritt, R. A. *Internal Surgery*, **59**, 333, 1974.

[44] Carey, E. J. *Medical science exhibits : a century of progress*, pp.127, 128. Chicago. 1934.

[45] Meleney, F. L. In *op. cit.* [13] (Davis, L. (ed.)) p.9.
Chain, E. B. Thirty years of penicillin therapy. *Journal of the Royal College of Physicians*, **6**, 103–131, 1972.

[46] Fish, H. E. The development and growth of the American Sterilizer Company. (typescript) pp.6, 9, 13, 14, 1961.

[47] Elliott, I. and Elliott, J. R. *A short history of surgical dressings*, pp.22, 23. The Pharmaceutical Press, London. 1964.

[48] Bulloch, W. and Lampitt, L. H. and Bushill, J. H. *The preparation of catgut for surgical use.* pp.14, 20, 25, 32, 45, 98. H. M. S. O., London. 1929.

[49] Pack, G. T. and Ariel, I. M. In *op. cit.* [13] (Davis, L. (ed.)) p.69.

[50] Johnson, S. L. In *op. cit.* [22] , pp.ix, x, 42, 65, 66, 147, 156, 157.

[51] Benatt, A. J. *The Lancet*, 1, 746, 1949.

[52] Johnson, S. L. *Op. cit.* [22] , pp.106, 107, 129, 136.

[53] Kelly, H. A. and Ward, G. E. *Electrosurgery*, p.1. W. B. Saunders, Philadelphia. 1932.

[54] Das, K. *Obstetric forceps : its history and evolution.* C. V. Mosby, St. Louis. 1929.

[55] Higgins, C. C. In *op. cit.* [13] (Davis, L. (ed.)) , p.186.

[56] Broca, A. and Ducroquet, C. *Artificial limbs* (trans. Elmslie, R. C.) , pp.xv, xvi. University of London. 1918.

[57] Faries, J. C *Limbs for the limbless*, pp.39, 40. Institute for the Crippled and Disabled, New York. 1934.

[58] Bick, E. M. *Source book of orthopedics* (2nd edn.) , pp.431, 433, 441. Williams and Wilkins, Baltimore. 1937.

第55章 供水与污水处理

F. E. 布鲁斯（F. E. BRUCE）

第1篇 供 水

到19世纪末，有关提供充足的、质量良好的公共用水方面的一些主要技术问题已经解决（第Ⅴ卷，第23章）。尽管为了对某一地区可供利用的水源进行合理估测，仍然需要大量收集降水量、流失量和地下水资源的有关资料，但人们在气象学、地质学和水文学诸领域中所取得的丰富的基础科学知识，已经使合理的估测成为可能。如果某些地区需要用水，人们可以利用现代工程技术手段修筑堤坝而大量蓄水，确有必要时还能通过渠道将水送往数百英里以外。高功率蒸汽水泵把水从深井和钻孔中抽到地面，确保城市各处有水供应。水中主要病源的危害终于为人们所认识，利用沙对公共用水过滤成为最常用的水处理法，用氯气或臭氧对水进行消毒也不乏其例。

因此，从技术上讲，在1900年为几乎所有城镇提供足够清洁、安全的用水已经成为可能。然而，这种理想的状态事实上仍很遥远，因为所需工程巨大且耗资惊人，从规划到施工完成要持续数年时间。在城市扩大、人口和工业快速增长的年代，以现有水源去满足人们的实际需要是很困难的。直到现在，世界上许多主要城市还在为解决水量不足、水质不安全的供水问题而奋斗。

55.1 水管理方面的发展趋势

在这段时期，人们把水资源看作一个整体，这一态度上的改变开始影响供水的实践活动。20 世纪初，饮用水的供给被看成是配套问题。1364人们对探寻地表和地下的水源，并规划出相应的汇集、储存、处理及配水工程。像英国北部工业集中的那些地区，社区之间为集水区水的使用权展开竞争。竞争还来自工业部门，它们不再需要水轮提供直接动力，而是越来越多地使用蒸汽、冷却水和加工用水。

其实，这种竞争本来不是什么新鲜事。但随着 20 世纪的到来，水的其他方面的用途愈显重要，许多国家开始实施大量用水的灌溉项目（第 36 章）。水力发电（第Ⅵ卷，边码 195）迅速发展，充足的河水流量对于航行、污水和工业废液废物的稀释处理、娱乐及提供舒适的环境都是必需的。此外，控制河水流量也能避免洪水。对水的各种利益冲突的需求或对用水的控制，并不一定在任何地方都出现，不过供水必将越来越多地满足各种其他用途，同时还要应付日益加剧的污染问题。

在某些国家，依靠建立负责整个河流流域的管辖机构来实现对于水的管理。例如，德国鲁尔河（Ruhr）和其他流域的管理局，以及美国田纳西流域管理局，就是这样的管辖机构。

直到 1948 年，英国才采用了河流水源联合管辖的原则。至此，除了泰晤士河与利河（Lee）管理委员会外，又有 32 个河流董事会在英格兰和威尔士建立起来。实际上，这种想法已经提出 100 多年了，只是面对顽固的地方政府机构而毫无进展。

在英国，公共用水供应纯属地区性的问题。当因竞争引起用水高度浪费和低效率时，国会曾经偶尔插手，成立了水利联合董事会。然而，在 1935 年的英格兰和威尔士，这类董事会只有 48 个，却有 790 个独立的市政企业、284 个公司和约 1000 个私营系统[1]。英国国会两院联合特别委员会、水力资源委员会、水利事业和工程师联合会

等各部门，分别在1910年、1920年和1935年提出了进一步统一管辖水资源的建议。1935年，内陆水源调查委员会宣告成立，以协调、促进地面水流量和地下水资源的数据收集，这是制定国家水利政策必不可少的基本数据。

有益的是，水利政策终于在1945年的《水法》(*Water Act*)中提出。法令规定，将供水作为一个地区性职能，在交由现有企业管理的同时，授权卫生部长负责保护和合理利用水资源，包括确定控制使用地下水的地区。此外，卫生部长还有权通过协商督促企业合并，认为必要时，也可以采取强制措施。1950年以前，供水工业精简进程刚刚起步，后来随着合并势力的逐渐增长，英格兰和威尔士的合法企业由1945年的1200个减少到20世纪70年代的不到200个。

55.2 供水的国际性

在供水方面往往存在着国际因素，因为让本土及海外领地的居民都能得到足量的水供应，是那些拥有海外领地的国家义不容辞的责任。

第二次世界大战后，国际合作在两个方面得到了发展。一方面，各国水务管理局和工程师之间开始密切交流，1947年成立的国际供水协会便是例证。另一方面，较发达国家对贫穷国家更加关切，因为发展中国家及地区性组织缺少资金、材料和专门人才来设计制造安全供水系统(他们还有许多其他需要)。这种关切出于多种原因，最主要的原因之一便是较发达国家已经意识到，随着国际日益频繁、迅捷的交往，霍乱和伤寒一类的疾病很快会在全世界蔓延，即使那些在消除这种传染病方面取得很大进展的国家，同样也面临着外来威胁。

1948年建立起来的世界卫生组织认为，包括充足而安全的水源的环境安全，是制订卫生计划的必要基础。在最初的几年里，这一组

1366 织倾向于重点帮助农村地区。到了1959年，在一些国际机构资金的帮助下，它开始实行一项公众供水计划，启动了数项主要工程，改进了加尔各答、阿克拉和伊斯坦布尔等城市的供水。

55.3 水源的发展

对各种水源的寻找、评价和开发，在19世纪的下半叶蓬勃开展，此后50多年一直方兴未艾，只是在战争年代和经济不景气时才受到阻滞。

水利工程师积累的地质知识，有助于他们寻找地下水，定位及设计水坝。雨量计以及记录仪和水流测量站数目的增加，提供了一些资料，当采用统计法进行分析时，可以更准确地估计出可靠的集水量及水坝的蓄水量和所需规模。对洪水流量和出现次数的进一步认识，有助于水坝特别是土坝更安全的设计。从前许多水坝遭到破坏，就是由于溢洪道的泄洪能力不足。水坝被用于水力发电、灌溉、河道调节和洪水控制以及水供应与食水供应，这激励工程师们去寻求更科学的方法进行水坝设计(第36章)。

地表水源 19世纪建起的水坝大多是土坝，中心是垂直的黏土心墙(偶尔也用混凝土)，起截水作用的墙体向下延伸到坚固的岩石或不透水地层，这种形式的堤坝一直用到20世纪40年代。对于主体堤坝材料的选择，取决于是否易于获得。技术人员掌握了泰尔扎吉(K. Terzaghi)等人在土壤力学这一新学科的研究成果后(1936年官方首次承认)，对这些材料的性质才有了全面的了解。

基于进一步的认识，土坝的横断面变得更复杂了，对所用材料的透水性要进行详尽的分级，使外围的水可以随意排放，同时保护彻底防水的心墙。由于使用不透水材料覆盖层或局部防渗隔离沟来控制坝 1367 下的渗水，在适当的情况下可以不必建造完整的不透水隔离墙，否则就要建造得特别深，开销也特别大。德文特谷水利委员会(Derwent



图 55.1 坚实的由黏土碾压而成的心墙。

Valley Water Board）的莱迪鲍尔水坝（1935—1945 年）深达 78 米，几乎是堤坝自身高度的两倍[2]。

由于在开凿、运输和加固填充材料方面使用了重型机械，建筑更大的水坝和设计上的某些改变成为可能。传统的填塞夯实而成的黏土心墙大约只有 2 米厚，采用机械碾压而成的心墙厚度则大大增加。

碎石材料可以建成较陡的滑坡，建设堤坝时要比其他材料经济得多，所以在美国得到了广泛应用。1933—1936 年间，为香港供水的著名城门（Shing Mun）水坝（以前称为峡坝，最大高度为 84 米）建成。不同于其他水坝，它拥有大量混凝土延伸砌块，用来将水压传递到其后的石头填充物，混凝土砌块本身支撑着坝与水接触面的不透水混凝土板（图 55.2）[3]。

到 1900 年，全部由砖石建筑的水坝依然相当普遍，但混凝土在这类工程中的作用则越来越大（图 55.3）。1900 年以后建起的多数“砖石”坝实际上是混凝土坝，用石料贴面是出于外观的考虑。随着混凝土质量的改进及砖石工程的造价日趋昂贵，全部用混凝土建坝的做法越来越为人们所采用，为伯明翰提供用水的克利文（Claerwen）坝就是

1368

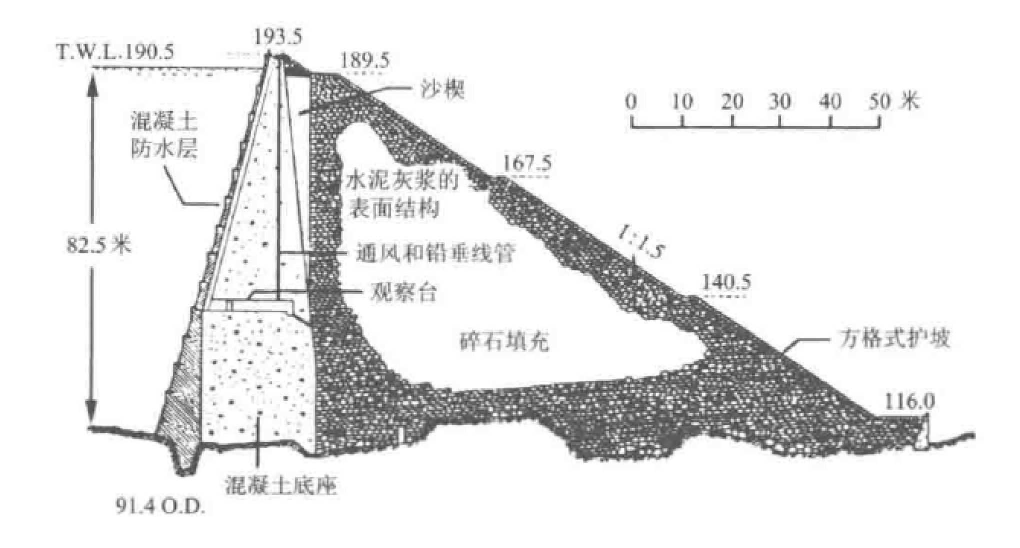


图 55.2　1936 年建成的香港城门堆石坝。



图 55.3（a）　1905 年正在建造中的德文特谷水利委员会的豪登（Howden）水坝。

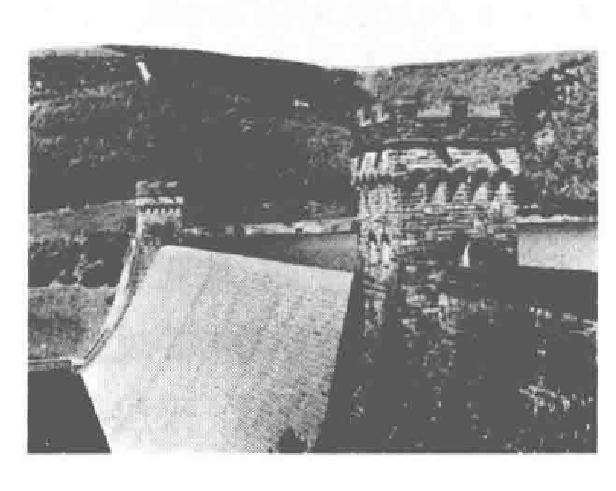


图 55.3（b）　与豪登水坝结构相似的德文特水坝，建成于 1916 年。



图 55.4（a）　1949 年建设中的为伯明翰供水的克里文水坝。与图 55.3（a）所示水坝的建筑方式截然不同。

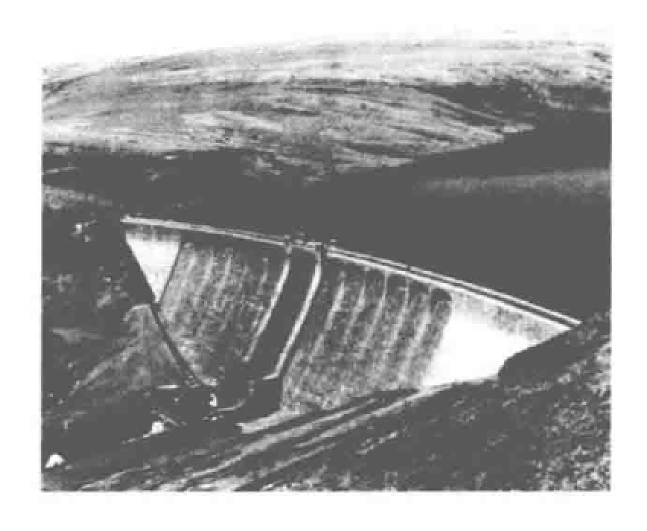


图 55.4（b）　建成后的水坝，1972 年。

一例。这座砖石贴面的混凝土坝建在威尔士中部，高 58 米，1952 年在意大利砖石工匠们的帮助下建成(图 55.4)。

重力坝继续占据主导地位，它的设计依旧以早期法国的工程技术人员和兰金(W. J. M. Rankine，第Ⅴ卷，边码 556—557)所阐述的原则为基础。从 1904 年一直持续到 1908 年的那场著名论战，主要在皮尔逊(Karl Pearson)和昂温(W. C. Unwin)之间进行，已被认定的理论遭到严重的怀疑，但因为始终未对大多数工程师所采用的流程产生影响而不了了之[4]。然而，几种论点都是在用木料、胶泥和橡胶制成的模型水坝实验基础上提出来的。从那以后，模型测试便成了对水坝应力进行理论分析所公认的检验方法。

显然，这种技术尤其适用于应力分布形式更复杂的拱坝。在具备工程所需条件的地方，混凝土拱坝越来越多地建造起来——在陡峭的山谷中用坚固的岩石来支撑拱坝。在所需混凝土的数量方面，这种水坝提供了可观的经济效益，优点可以同支墩坝相比。例如，霍斯沃特(Haweswater)水坝(1934—1914 年)就使得霍斯沃特湖的水位提高了 29 米，从而增加了对曼彻斯特的供水(图 55.5)。在美国，许多大型支墩坝建立起来，其中一些为多拱形，坝面为一系列拱形结构，由支墩支撑着。

与在河的上游进行蓄水所需的惊人工程量相比，从河里直接取水则是相当简单的事。然而，这种直接取水法依然重要，特别是对于伦敦而言。伦敦缺水的问题日益严重，只有在两个山谷中建造一系列大型水库，泰晤士河和利河才可能继续作为主要的水资源。由于水坝建于平地，形成了全环绕性堤坝，断面与通常的土坝相类似。堤坝的中心为黏土结构，与伦敦的天然黏土地基相连。

地下水源 地下水的收集受益于石油工业发展带来的旋转钻井设备和技术的进步。大约从 1900 年起，这种方法便逐渐用于打水井。不过，以电缆或钻杆带动钻头的冲钻法依然使用，尤其是在地层较软

1370

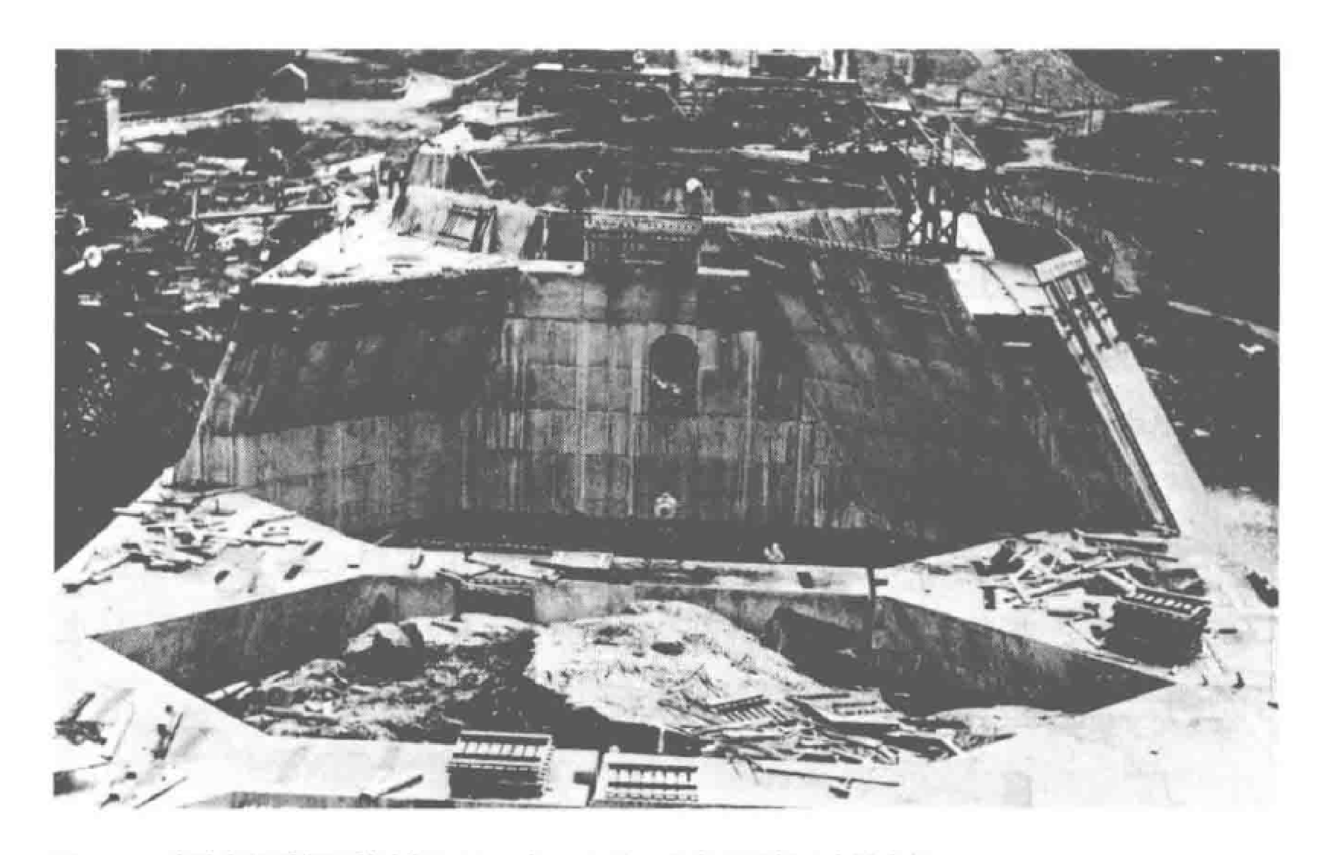


图 55.5　建设中的霍斯沃特水坝，1936 年。这是一座大型混凝土支墩水坝。

的地带打井。很少用人工挖井，钻出的井直径倾向于偏大，通常超过 1 米，有时达 3 米。钢质井壁很常见，但在那些容易腐蚀的地方，人们还是乐于用铸铁，有时也采用更耐久的材料，例如不锈钢、青铜或石棉水泥。

通过在建井过程中采取的措施或打完井后的改进，从而保证从钻井中获得最大的水量，已经引起人们的更大关注。大约自 1930 年以来，许多钻井内均混有大量沙砾，这意味着井壁周围堆着厚厚的一层沙砾，在含水地层与井管防砂罩之间存在着不稳定的大透水层。长期以来采用的后期改进措施包括液压法，即用柱塞将水交替压入井中并从井中抽出，还包括用酸加大石灰石结构中的裂缝，或在深井底部采取爆破的方法。

1371

因为电动离心泵的采用，钻井成为供水水源。由于装有大量的活动部件，蒸汽驱动往复式泵在 20 世纪初被空气升液泵取代。1914 年以前，由地表上的电动机驱动的多级离心钻井泵已经投入使用。20

世纪30年代初，完全潜水泵和电动机问世，从而摆脱了长驱动轴，使修理和部件更换工作更易进行。

55.4 输水、配水和水泵抽水

整个19世纪深受水利工程师们欢迎的铸铁水管，依然是输送水的主要器材。嵌铅接头也还是原样，尽管设计了许多机械接头，例如以橡胶环密封的螺旋接头，其中一些成为常规使用的接头。主要的进步是1914年法国人拉瓦德（Lavaud）采用的离心铸铁管（spun-iron pipes），以这种方法制造的水管比静态直式浇铸的更加坚固可靠。从20世纪20年代起，钢制水管得到更广泛的采用，尤其是在旋制水泥或沥青涂层得到应用之后。

1916年，在意大利首次商业化生产的石棉水泥水管为许多供水企业所使用。这种管子的长处是比较轻，管膛平滑并耐腐蚀。20世纪40年代末期，小孔径具有弹性的聚乙烯水管在一些建筑行业得到应用。铜管业应运而生得到发展，铅管业则开始被冷落。

作为明渠混凝土管线或压力隧道所需的主导水管，已经被制造出来，它比标准水管尺寸大得多。在美国林木资源丰富的地区，大孔径的木材制管很常见。纽约州东南部卡茨基尔（Catskill）和特拉华（Delaware）集水区取水的工程中，卓有成效地利用了高压隧道[5]。卡茨基尔水渠建于1907—1917年间，长度为150千米，直径为4.5米，穿过坚硬岩石开凿而成。它穿过哈得孙（Hudson）河的底部，最低处低于海平面340米。20世纪40年代建成的特拉华水渠，是一条类似的高压隧道。

在提高水位的工作中，梁式发动机作为动力源一直为人们所信赖推崇。到了20世纪初，它的使命趋于结束，渐渐为更坚固、更紧凑的蒸汽机或燃气、燃油发动机所取代。不过，一些杠杆发动机仍然在生产（图55.6）。在英国（可能也在全世界）安装的最后一台杠杆发动

机，是1919年在科恩河流域水利公司的依斯特伯瑞（Eastbury）泵站生产的，由格兰菲尔德（Glenfield）和肯尼迪（Kennedy）制造，功率为112马力。

在很长时期内，水泵继续由各种蒸汽机——水平式或垂直式，简单的或复杂的——来驱动。20世纪30年代以前的较大工程中，立式三缸发动机是通用的原动力机（图55.7）。尽管柴油发动机由直接驱动水泵变为用于发电而间接驱动离心泵，但它的作用并未减少。

连续平稳的运转、高度的适应性、紧凑的结构和尺寸与型号的多样性，使离心泵在整个50年间逐渐取代了往复式水泵。最初，离心泵由蒸汽驱动，往复式发动机和涡轮机均用蒸汽，但在容易获得电力或易于发电的地方，电便成了常用的动力。

55.5 水处理

将原水处理成饮用水的主要原则，在20世纪初就已经明确。主要的处理方法是砂床过滤法，尽管慢速砂滤和快速砂滤的性质截然不同。

慢速砂滤法 慢速砂滤池已经问世50多年，它抵御霍乱和伤寒病毒的价值在伦敦、阿尔托纳等许多城市得到证实。这种砂滤池依靠砂床最上层生成的生物群体的物理作用和生物化学反应，获得巨大的净化能力。虽然混凝土结构有取代砖石结构之势，地下排水系统的各种设施也相继出现，但在其后的50年里，这种砂滤池的设计原理仍然保持不变。大约在1942年，一种既不用手工操作又不排干砂床的清洗砂子的设备由西瓦德（M. Sivade）在巴黎设计出来。据说在10年以后，这套设备依然运转良好，令人满意[6]。

包括伦敦在内的许多城市，都采用快速砂滤池作为基本的或粗加工过滤池，使得慢速砂滤池的工作效率比以前提高了。这种增大净水效率的方法无须增加相应的所需的土地。然而，由于土地资源紧缺的

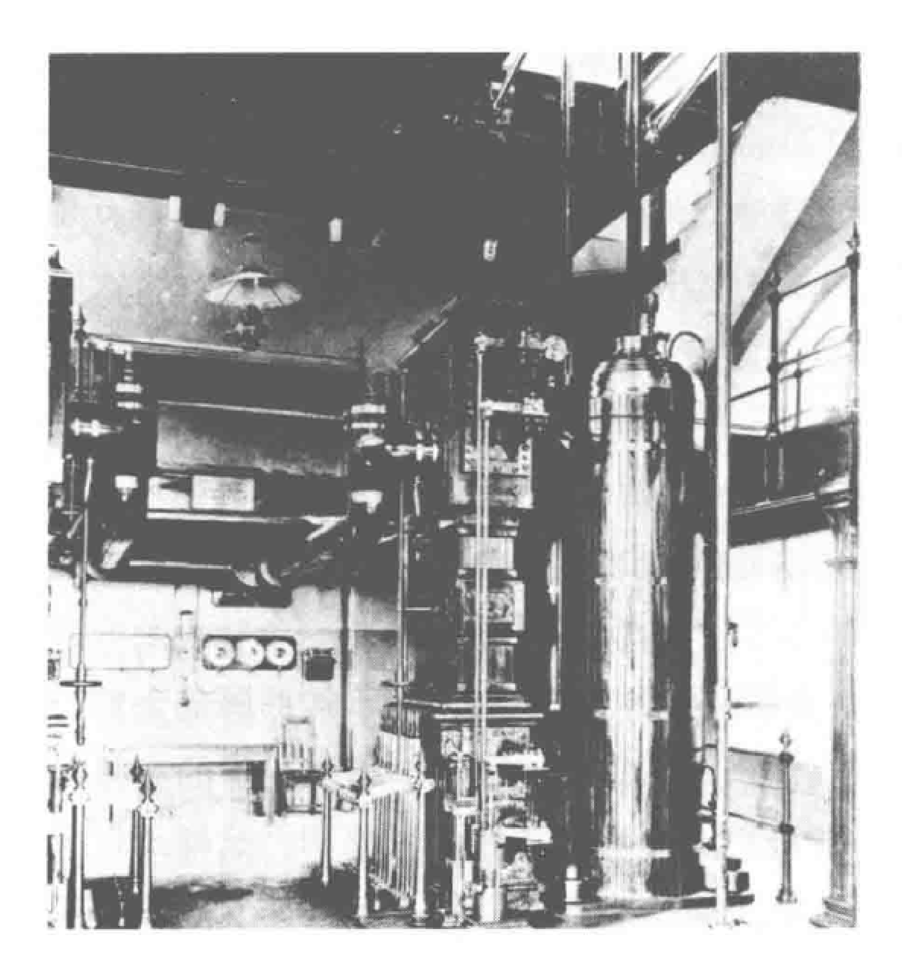


图 55.6 格兰菲尔德和肯尼迪制造的170马力复合梁发动机。1902—1905年间制造了4台这类发动机，这是其中之一。其安装在布里斯托尔（Bristol）自来水公司的布莱顿（Blagdon）泵站。

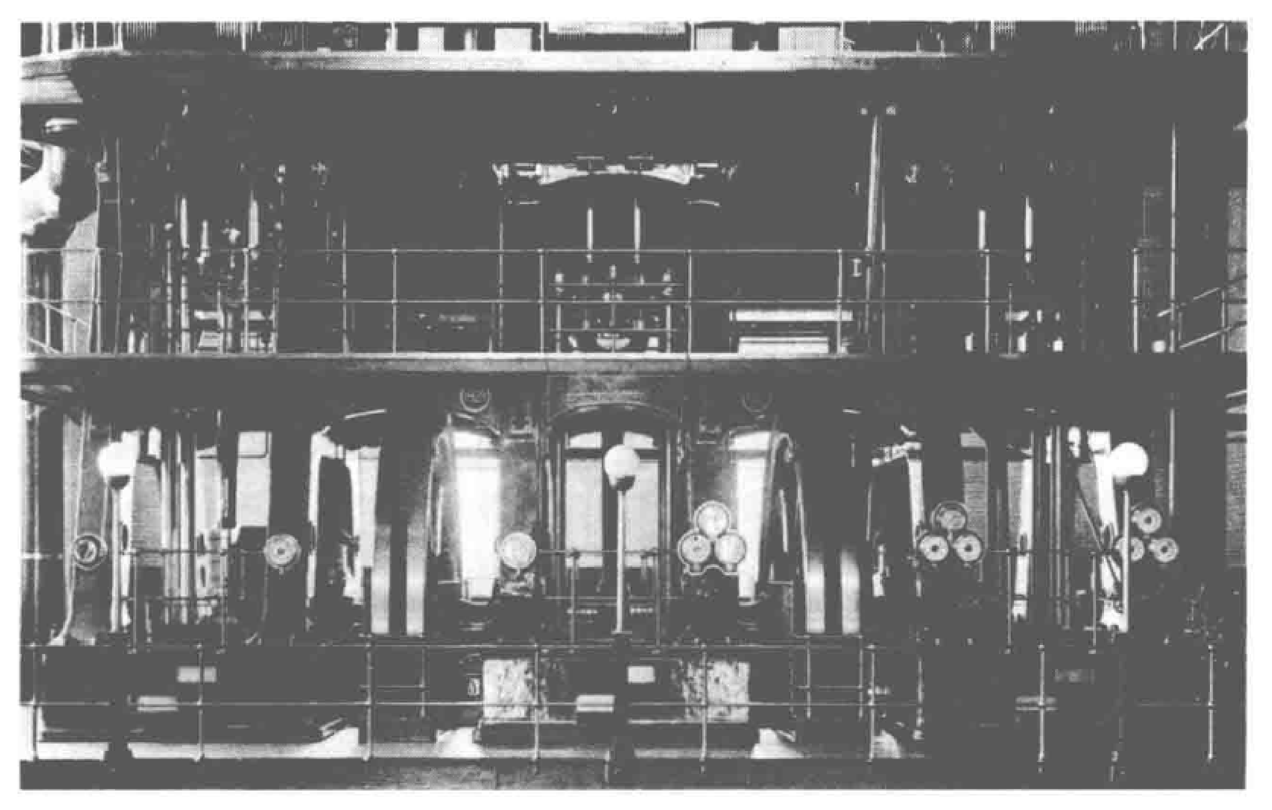


图 55.7 于1929年安装在大都市供水委员会的肯普敦（Kempton）公园自来水公司的两台三胀泵式发动机之一，其名称为威廉·普雷斯科特（William Prescott）爵士。每台均为1008马力，每天向伦敦北部输送1200加仑（0.63立方米/秒）的水。

压力，加上使用快速砂滤池和化学混凝法经验的增加，20 世纪 40 年代之前，在新建水处理工程中几乎不再采用慢速砂滤池。

快速砂滤法 快速砂滤池的处理速率约为慢速砂滤池 50 倍，几乎全部通过物理渗滤，将悬于水中的固体物质过滤掉（虽然后来证明会发生氨的细菌氧化现象）。这种过滤器可以采用水表面处于大气压力中的重力过滤器，也可以采用密封于熟铁或钢制容器外壳中的压力滤器。这两种形式的最原始的过滤器，几乎都是装在圆形外壳里的小型装置。压力滤器的体积必须进一步缩小，后来的重力过滤器则通常建在较大的钢筋混凝土的矩形敞开式池中（图 55.8）。

由于砂在世界多数地区均易获得，一直是用于过滤器的天然材料，不过其他材料业已为人们所用。从 1884 年起，英国的糖果公司便制造出大量含有一层极性或磁性氧化铁的过滤器，这样可以促使有机体进行氧化，同时对清除铁质也有作用。1910 年，这家公司获得了迪 – 科罗（De-Clor）系统的专利权，这套系统采用了极性或木炭清除漂白粉过氯化后的多余氯。1910—1912 年，在雷丁使用了这套工序。

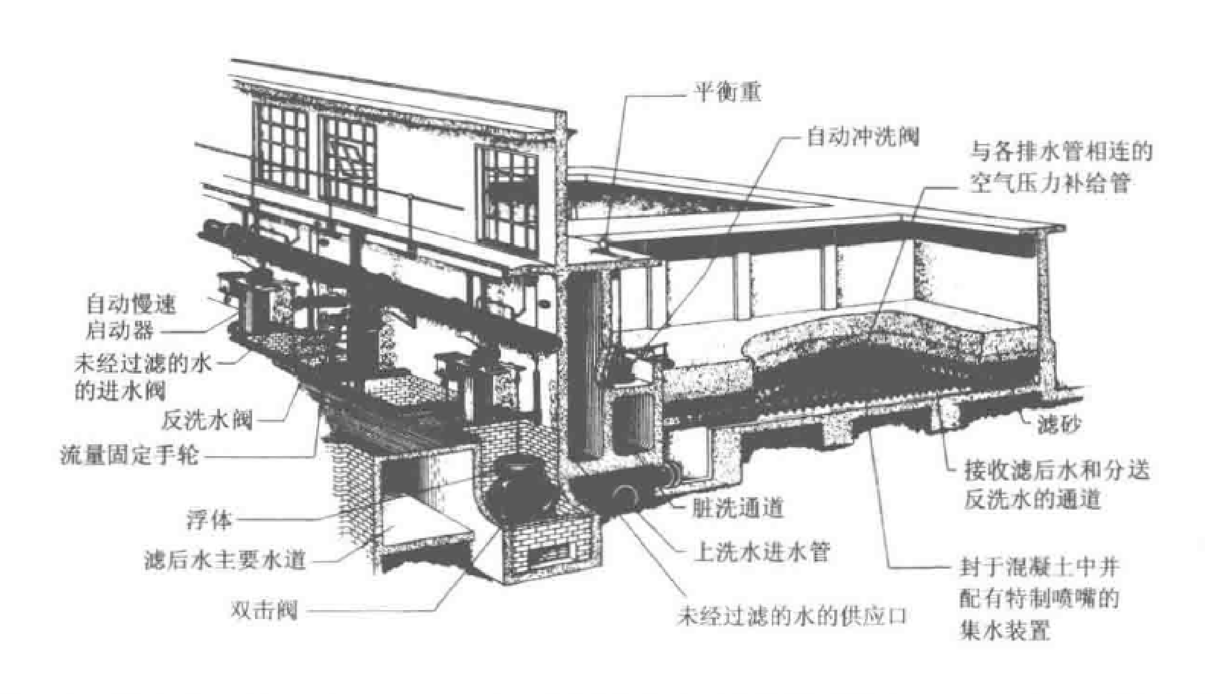


图 55.8 快速重力砂滤池，建在都市供水管理委员会的泰晤士河畔沃尔顿厂（Walton-on-Thames Works）中。

混凝法 由于应用较粗的砂且过滤速度很快，快速砂滤器单独使用时，在清除细菌方面远不及慢速砂滤器效果好。与此同时，有关应用硫酸铝作净化水的混凝剂问题正在许多国家讨论和试用。1885 年，混凝法作为快速砂滤法的预处理，在新泽西州的萨莫维尔和拉里坦（Somerville and Raritan）自来水公司得到应用。20 世纪之后建设起来的许多美国新自来水厂，都采用了这种方法[7]。由混凝剂产生的沉淀物，使快速砂滤池能够拦住包括细菌在内的细小悬浮物，就如同生物膜在慢速砂滤池上的作用一样。1950 年前，在快速砂滤法后出现的化学混凝法，成为通用的水处理法。

硫酸铝依然是应用最普遍的混凝剂。不过，经常用于污水沉淀的硫酸亚铁和三氯化铁在 19 世纪也被用作混凝剂。20 世纪 20 年代，铝酸钠作为硫酸铝混凝作用的辅助手段而被采用。1937 年，贝利斯（John R. Baylis）采用了"活性硅"，这种现用现配的硅酸钠溶液协同硫酸铝凝聚污物，产生一种容易从水中分离出来的较坚韧的絮状沉淀。

预处理 为减少由慢速砂滤池清除固体物质的负担，沉淀池早就被使用了。当混凝法成为水处理的通用方法时，沉淀池为化学絮状物的生成和沉淀提供了时间。许多池中装有挡流板，以便进行轻度的搅拌，从而加速絮凝的进程。同时，机械絮凝器——通常是慢速转动的搅拌桨——已经在美国普及。

如果新形成的胶粒同原来的较大絮状物接触，絮凝作用也会加速，这一方法体现在 1902 年佩特森（William Paterson）荣获的水软化专利中[8]。但在 30 年代中期，茵菲尔克（Infilco）公司的沉淀加速器（图 55.9）和斯鲍尔汀（Spaulding）公司的"沉积器"被采用前，上述方法并未得到充分发展。不论是进行正常凝聚还是石灰软化，沉淀加速器和沉积器均可添加混合化学物质。

毫无疑问，沉淀现象会在蓄水库里自然发生。1909 年，休斯

1377

敦（A. C. Houston）（后称亚历山大爵士）就围绕着用沉淀法和灭菌法使水质得到极大改善进行了调查，此项工作是针对伦敦泰晤士河边的蓄水库进行的。然而，如果这种露天贮水池含有有机体污染的分解物，池中便容易产生大量的季节性藻类，从而成为过滤的大麻烦，并且使水变臭而不能饮用。围绕着美国一些城市在这方面的惨痛经历，贝克（M. N. Baker）[7] 进行了详尽的阐述。1904 年，穆尔（G. T. Moore）和凯勒曼（K. F. Kellerman）[9] 提出，把少量硫酸铜撒于水库的水面可以杀死藻类。这种处理成了解决这一问题的最常用方法。

1945 年，格兰菲尔德和 T. 肯尼迪推出微滤器，这是水藻的物理清除手段。微滤器是一个滚动鼓形筛，上面装有特织不锈钢线网，网孔只有 20 微米。

消毒法 1900 年前后，水过滤的增加大大减少了水源性疾病。然而，过滤法并不是万无一失的，使用次氯酸盐战胜伤寒蔓延的早期经验（第V卷，边码 567），使人们产生了把消毒作为过滤的最后防线的想法。在早期的处理中，都使用漂白粉溶液或其他次氯酸盐化合物消毒。但是，由于贮存和使用的困难，这种办法对于大水厂来说并不方便。

气态氯是成熟的化工产品。1896 年，在肯塔基州的路易斯维尔，朱厄尔将这种产品在经过过滤的水中试验（图 55.10）[7]。当这种气体被压缩成液态贮存于钢瓶中，便可以更广泛地应用。1908 年，在一次从勒克瑙（Lucknow）向德里（Delhi）行军的过程中，印军医疗服务队的内斯菲尔德（V. Nesfield）显然用这种液态氯对水池进行过消毒[10]。这只是一次临时之举，长期大规模的使用尚需精密测量和压力控制装置。例如，美国的华莱士（C. F. Wallace）和蒂尔南（M. F. Tiernan）在 1913 年（图 55.11）、英国的佩特森（Paterson）工程公司在 1917 年相继推出的那种装置。1917 年首次为“都市供水委员会”安装的那台设备，50 多年之后仍在使用。

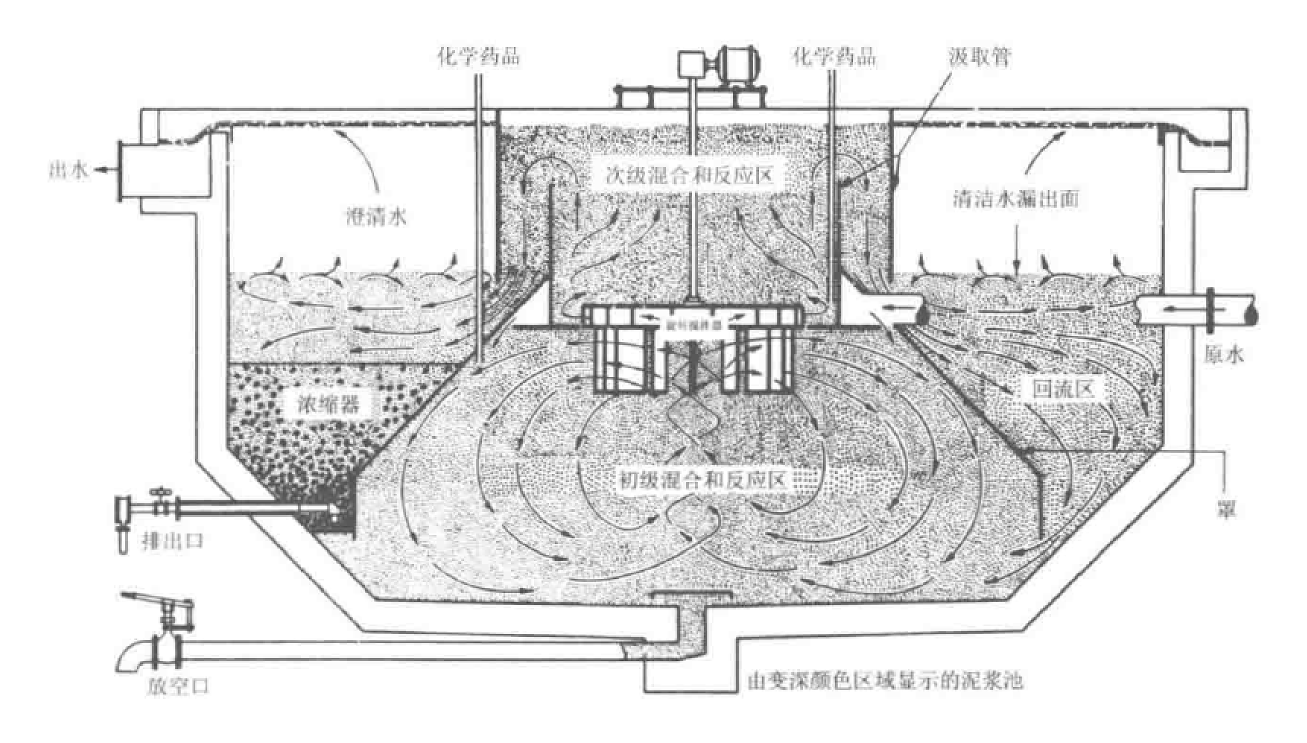


图 55.9　1936 年茵菲尔克公司推出的加速澄清池，具有提供化学添加剂并进行混合、泥渣接触絮凝、向上流动澄清和清除泥渣的功能。

图 55.10　朱厄尔（William M. Jewell）绘制的电解氯发生器草图。这是 1896 年 1 月在路易斯维尔（Louisville）滤池试验站进行实验时，使用的 12 台电解氯发生器之一。

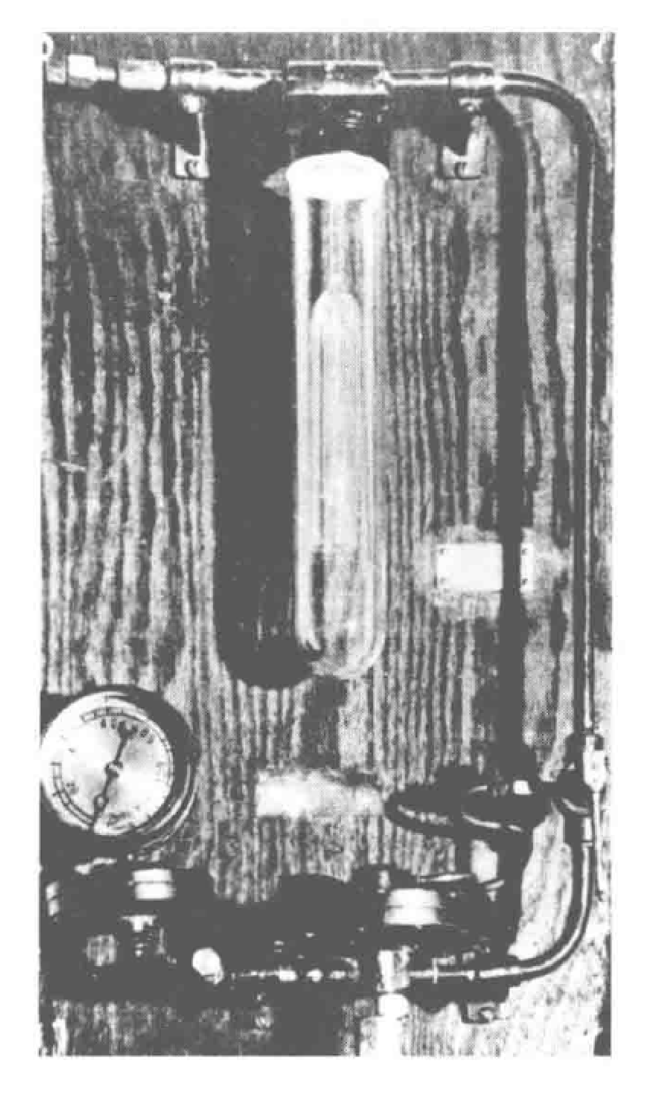


图 55.11 1913 年 2 月，华莱士和蒂尔南在新泽西州布恩顿（Boonton）安装的第一台加氯机，用于泽西（Jersey）的自来水供应。

在公共饮用水中添加一种外来化学物，曾经引起人们的强烈反对，这种反对来自一般公众和卫生界以及其他行业人士。但是，第一次世界大战中，在为部队处理野外（营地中）不安全的水源时，它的价值得以显示。不过，反对意见在 20 世纪 20 年代才慢慢销声匿迹。1937 年，在英国的克罗伊登（Croydon）有 43 人死于伤寒，是由于井水的污染，而当时加氯消毒设备被搁置一旁。这一惨痛事实提醒人们，消毒至关重要。

1378

氯及其化合物所产生的气味问题，许多厂家正在设法解决。一种方法是根据 1916 年雷斯（J. Race）在渥太华提供的实例，在氯气中加入氨，另一种方法是如同 1910 年在雷丁使用的工序，脱氯之后再过量氯化。直到霍尔维达（K. Holwerda）与格里芬（A. E. Griffin）以及其他人阐明了“折点”现象（通过强量氯对氯胺进行破坏），以及分析法发展到能对氯及其化合物进一步研究后，这两种方法才被使用。

1929 年，华莱士和蒂尔南在新泽西州的利特尔福尔斯（Little Falls）安装了第一台仪器，用来继续测量和记录氯的剩余量。用电解代替比色测量是一种进步，后来演变成对加入水中氯量的自动控制，从而保持预定的剩余氯。1951 年，第一套商业设备安装在伦敦附近

1379

西南郊区自来水公司的埃格姆(Egham)水厂。

另一种消毒法是臭氧消毒，在法国继续得到广泛使用。但是，这种方法在其他地方不受欢迎。1937年以前，法国的公用自来水和臭氧公司已经提供了101套设备。在其他国家，可能有30家臭氧工厂(图55.12)。

人们之所以反对使用臭氧，是因为它的耗资比用氯更昂贵，不便于在需要的地方进行生产，而且测量困难和不耐用。但是，臭氧是强有力的杀菌剂且不产生气味，又可以使水不含外来化学物。公正地说，自1950年以来，臭氧已经引起人们(除法国之外)的重新关注。

其他处理法 甘斯(R. Gans)在1906年获得专利的软化水离子 1380

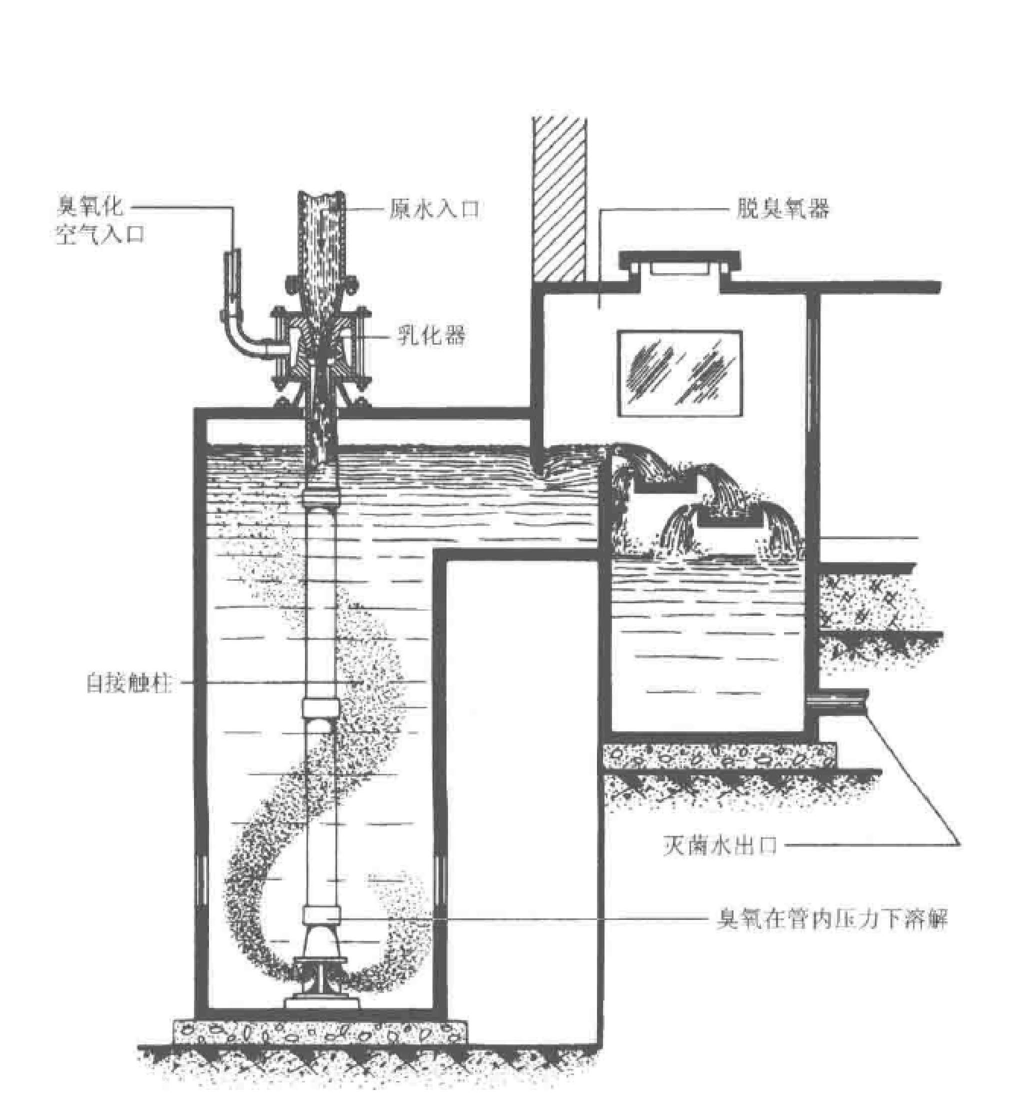


图55.12 通过奥托(Otto)乳化器将臭氧应用于水处理。

交换法，虽然没有取代石灰法或石灰-苏打法，但广泛地应用于市政，特别是工业部门的用水。

1935年，随着新型合成树脂和磺化碳素材料（比早期的天然或人工硅酸盐的交换能力更强、更耐用）的生产，离子交换能力大大提高。现在可以生产两级处理的水软化材料。用这种材料生产的水，就纯度而言比得上蒸馏水。在许多工业部门，这种办法都得到应用。

由于水处理中的化学性进一步为人们所认识，其他处理方法便更为引人瞩目。特别是那些具有经济价值的方法，其中包括除去水中的铁和锰，控制酸度和有关特性，防止形成水垢和腐蚀。

最后，应该谈一下1945年1月25日这个重要的日子。这一天，密歇根州的大急流城（Grand Rapids）开始了首次将氟化物放入公共供水的实验。不久以后，纽约州的纽堡（Newburgh）和加拿大安大略省的布伦特福德（Brantford）也进行了类似的实验。这种实验的目的在于将饮用水中的氟化物控制在约1毫克/升，这一浓度使牙齿珐琅质的脱色变化保持在最低程度。从那时起，氟化法传到进行水处理的大多数国家，并且不断取得成功。但是，这种方法仍然遭到那些将其视为“强制公众服药”的人们的强烈反对。

55.6 结论

在自来水供应的发展过程中，把1950年前后看成终点的标志是不相宜的。显而易见，这个时期是一个进步时代的起点。在一定程度上，战争的刺激使得新的科学知识和技术在许多方面突飞猛进。这种局面对供水工程师和化学家所面临的问题，以及解决问题的现有办法都产生了影响。

整个世界都在进行工业化建设，需水量大大增多，同时也给水源带来了污染。另外，还出现了新的污染形式——放射性、农药、洗涤剂和其他合成化学物质。疾病传播形式的变化使得病毒流行，致使人

们怀疑许多物质是可能的致癌物。

值得赞扬的是，战后出现了计算机和现代电子工业，这使得自来水处理厂和其他设备实行了自动化控制，能对复杂的供水管网中的流量和对包括水坝在内的构筑物的压力进行快速分析，并找到了许多管理方面的解决办法。由于仪器取代了费时的手工方法，化学分析越来越快速、完整和精确，膜过滤器则加速了对细菌的检测。用核能作为动力淡化咸水或海水的几种方法，为实现提供新水源这一迫切的需求展示了前景。

即使如此，到1950年，安全、适当的自来水只能为世界人口中的小部分所享用。进一步普及自来水供应的艰巨任务过去需要，现在仍然需要沿着精心制订的路线奋斗若干年，同时还要有合理的计划、国际的合作和资金筹措，并且在适宜的情况下合理应用先进技术。

相关文献

[1] Dracup, S. B. Water supply in Great Britain 1690–1950 ; A brief history in six parts. *British Water Supply*, Nos.1–6, 1973.

[2] Hill, H. P. The Ladybower Reservoir. *Journal of the Institution of Water Engineers*, **3**, 414–433, 1949.

[3] Binnie, W. J. E. and Gourley, H. J. F. The Gorge Dam. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, **11**, 179–222, 1938–1939.

[4] Pippard, A. J. S. The functions of engineering research in the university, Unwin Memorial Lecture. *Journal of the institution of Civil Engineers*, **33**, 265–284, 1949–1950.

[5] Blake, N. M. *Water for the cities*. Syracuse University Press, New York. 1956.

[6] Laval, M. A method of washing filter sand. *Journal of the Institution of Water Engineers*, **6**, 155–159, 1952.

[7] Baker, M. N. *The quest for pure water*. American Water Works Association, New York. 1948.

[8] Skeat, W. O. (ed) . *Manual of British water engineering practice* (4th edn.) . Heffer, Cambridge. 1969.

[9] Moore, G. T. and Kellerman, K. F. *A method of destroying or preventing the growth of algae and certain pathogenic bacteria of water supplies*. Bulletin No. 64, Bureau of Plant Industry, U. S. Department of Agriculture, Government Printing Office, Washington, D. C. 1904.

[10] Nesfield, V. The sterilization of drinking water by chlorine. *Journal of the Institution of Water Engineers*, **16**, 217–222, 1962.

1382

参考书目

[1] above is mainly concerned with policies, legislation, and administration in Britain during the nineteenth and twentieth centuries.

[5] above is a detailed history of water supplies to the cities of Baltimore, Boston, New York, and Philadelphia, from a political, rather than a technical, point of view.

[7] above is a very thorough technical survey of water purification from the earliest times up to about 1940.

[8] above is an authoritative manual on current British practice in all aspects of water supply, and contains an historical review of mainly British developments.

The following will also be of interest.

Books

Dickinson, H. W. *Water supply of Greater London*. Newcomen Society, London. 1954.

Metropolitan Water Board, *London's water supply, 1903–1953*. Staples Press, London. 1953.

Smith, N. A. F. *A history of dams*. Peter Davies, London. 1971.

Twort, A. C., Hoather, R. C., and Law, F. M. *Water supply* (2nd edn.) . Arnold, London. 1974.

Walters, R. C. S. *The nation's water supply*. Ivor Nicholson and Watson, London. 1936.

World Health Organization, *Urban water supply conditions and needs in seventy-five developing countries*. Public Health Papers No. 23, W.H.O., Geneva. 1963.

Journals

Aqua, the quarterly bulletin of the International Water Supply Association ; *British Water Supply* (formerly *Journal of the British Waterworks Association*) ; *Journal of the American Water Works Association* ; *Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists* ; *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* ; and *Water Services* (formerly *Water and Water Engineering*) .

第2篇 污水及污水处理

1900年以前，北欧和北美的多数较大城市以及世界上其他受欧洲污水处理做法影响的许多城市，都有一定规模的城市排污系统，即使很少，也是为全体居民服务的（第Ⅳ卷，第16章）。污水处理系统的主要设计原则已经确定，合适的材料和设备已经具备，建立污水处理系统的必要性已经为19世纪的健康统计资料所清楚表明。因此，接下来50年间的发展，更多地体现在建设新系统以及扩建或改进旧系统，而并非发展新技术方面。

将废物从居住地附近清除掉，对保护健康是有意义的。但是，现代城市拥挤的人口要求得到进一步的健康保护，在污水和其他废水排放到自然界以前，就对其尽可能地净化。污水处理的工艺和科学在1900年打下了牢固的基础，明显的进展则在下半个世纪才取得。

55.7 城市排污系统

19世纪初，当抽水马桶得到普遍应用时，现有的污水池已经不能应付增加的带漂浮物的污水了。同时，室内污水也允许排入地表排污系统中，主要是下水道和排水沟。这样一来，室内流出的脏水同断断续续流量不定的雨水流进同一下水道，并直接排入河水中，以致19世纪中期和后期产生了河水污染的严重问题。

由巴泽尔杰特(J. W. Bazalgette)设计的庞大的截流污水管道系统就是这种“合流制排水”系统，1859—1874年在伦敦建成。尽管遭到了一些人的强烈反对，但这一系统一直在使用。反对者认为，将污水和地面水分开，让“雨水流入河里，污水流进土地”更为合理。依据“分流制排水系统”的主张，除了那些存在大量出水口、可供地面水直接排入河道或渗水池的地区以外，其他地区则需兴建两套户户相连的排水设施，费用和复杂性不仅令市政工程委员会不敢问津，更多城镇也望而却步。

为了避免使用昂贵的特大口径排水总管并压缩水处理的工作量，合流制排水系统势必会在雨季较大流量时将部分溢流直接排入河中，从而造成了污染，成为这个系统的主要不足之处。在许多年里，由于污水处理厂的建立，先前的主要污染源已经减少，这种溢流水引起的污染变得更明显了。因此，污水分流系统越来越受到重视。20世纪初期，许多城镇将已有的合流制排水管道改为只输送地面水，建立起新的专用排污管。尽管许多老的中心地区——有时是整个城市，例如伦敦——还在继续使用合流制系统，但在城郊发展起来的新区，通常都使用分流排水系统。

唯一可以取代污水自流输送系统的是气动系统或称吸入系统，它是由荷兰的利尔纳(Charles Liernur)发明的，在阿姆斯特丹的广大地区运行了30多年，也在布拉格的一些地区、圣·彼得堡及其他欧洲城市里安装起来。从1902年起，这样的小装置在英国的斯坦斯特德(Stansted)、埃塞克斯(Essex)也使用了好几年。然而，气动系统比自流排水管造价昂贵，且可靠性差，而被淘汰，直到20世纪50年代瑞典的利延塔尔(Joel Liljendahl)重新提出这一原理。

1384

肖恩(Isaac Shone)在1878年获得专利的喷射器中，气动发动机得到有限的应用。这种发动机被用作低压泵，其中包括一个大容器。当这个容器充满污水后，便通过压缩空气自动倒空，进入较高位

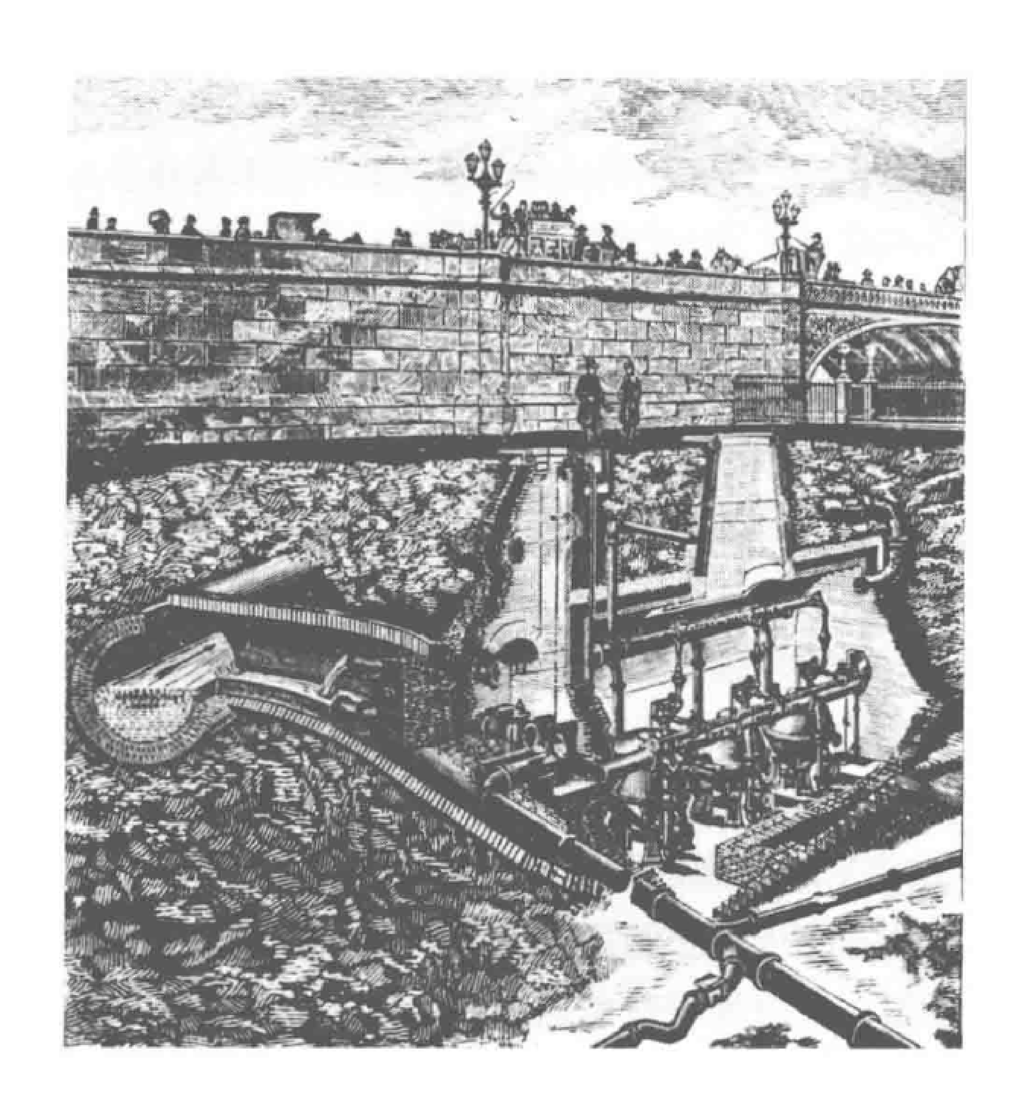


图 55.13　1886 年安装在威斯敏斯特宫附近的，在下议院议长绿地下方的三套肖恩（Shone）喷射器，其中两套仍在使用。

的污水管。相当长的一段时间里，大量的肖恩喷射装置一直在为全世界提供可靠的服务。1886 年，威斯敏斯特宫安装了三套这种设备（图 55.13），目的在于防止巴泽尔杰特截流污水管道中的污水回流到宫殿内的水管，引起腐臭难闻的气味。据说，这种气味使得国会议员们“昏昏欲睡，萎靡不振”。其中一部喷射器后来为一部较大容量的水泵所取代，另外两部 90 年后还一直在使用。

为了用水泵传送因自然坡度不足而无法形成自流的那些地方的污水，20 世纪初大多数情况下使用的气动往复式活塞泵，让位给了通常由电进行驱动的离心泵，并开始采用特殊结构的“无堵塞”泵。这种泵不会被固体物质堵塞，适合用于自然污水的处理。

55.8 设计方面的进步

在设计污水处理系统时，相对来说，估量建筑物所排放的污水量比较简单，计算地表水流量却是一个复杂的问题。

19 世纪时，为了设计的方便，大多数设计师对整个排水地区的降雨量设立一个连续均一的比率，所选比率与地区面积的大小成反比。1889 年，美国的柯伊克林（E. Kuichling）[1] 指出，暴雨持续的时间相当于它的集中时间，暴雨时污水系统中设定点的最大流量必定是从集水区最远的部分流到设定点的流量。持续时间较长的暴雨，降雨的平均强度较低，短时间的暴雨则在汇水区汇合之前便已停止。这种一般的原则（在某些情况下需要修正）是用“推理”方法设计地表排水管的基础，其中设定点的径流率是以下 3 项的乘积——汇合面积；主要由地面不透水性决定的径流系数；与估计暴雨集中时间相关的降雨强度。1906 年，这一种推理方法由劳埃德 – 戴维斯（D. E. Lloyd-Davies）[2] 介绍到英国，但与德国和美国相比，它却迟迟没有得到采用。

这种方法的弱点是降雨平均强度的确定，用于整个降雨期的这一平均强度是假设的。到 20 世纪 20 年代，由于雨量器记录资料的积累，使更具有代表性的“设计暴雨”（design storms）得以应用，当降雨强度达到峰值之后，又逐渐减少。奥姆斯比（M. T. M. Ormsby）[3] 和哈特（C. A. Hart）[4] 就使用了此类暴雨变化图。在美国，地表水水文学中提出的单位流量曲线原理，在 1950 年以前应用过几例。

1386

到 20 世纪 30 年代，与降雨强度和持续时间相关的公式为许多观察者所扩展，引入了“特定暴雨发生频率项”这一术语，比尔海姆（E. G. Bilham）[5] 提供了适用于不列颠群岛的具体实例。这些知识使得在排水管道不足的情况下，根据所能承受的洪水破坏程度来选择设计。

55.9 材料及施工

在整个这段时期里，小型污水管的设计和建造方面变化很少，通常由上了盐釉的“粗陶”（更准确地说，是瓦料）或混凝土制成的圆形管铺设而成。在需要增加特殊强度的地段，则使用铸铁管子。几乎在所有的情况下，这些管子都要紧密地用套管和管座连接起来，并且用水泥浆封口。具有一定伸缩性的、更复杂的接头，尚未被广泛应用。

第二次世界大战结束前，几乎没有其他管材用于污水管道。意大利的马扎（A. Mazza）在1913年设计的石棉水泥管，20世纪20年代末期开始在英国和美国进行生产。在这些水管被用于重力下水道之前，多年来都被作为供水的压力水管使用。

由煤焦油浇铸的纤维材料制成的沥青水管，虽然早在19世纪50年代在德国就已经得到应用，但直到1900年左右才广为人知。那时，这种管子在美国只用于电缆管道、小型排水管和煤气管道。1953年，



图55.14 有垂直侧面的蛋形砖砌下水道的连接处。照片是1951年伦敦下水道委员会提供的。

英国才开始生产这种管子。

在这个阶段初期，不论对于圆形截面还是在低流量时保证有合理的水流深度和速度的下端渐窄的蛋形截面，较大的排污管道均是砖结构（图 55.14）。从 20 世纪 30 年代起，尽管砖材还一直被用来作为掩盖混凝土排水管较低部位的耐久管线，排污管道却很少使用砖材了。从 20 世纪 40 年代起，不论是普通还是强力混凝土，甚至预应力混凝土，都提供了快速、低廉生产大孔径预制管或就地铺设管道的方法。

泥砖排污水管的早期历史已经表明，这类管子常常被压碎。但是，除了 1855—1856 年间巴泽尔杰特和海伍德（W. Haywood）进行过这方面的实验以外，极少有人尝试把埋在地下的管子的强度与加在管子上的泥土压力联系起来进行研究。1913 年，爱荷华州立大学的马斯顿（Anson Marston）在兰金的早期工作及他自己实验的基础上，

1387

提出了一种可以进行负载计算的理论[6]。在其后的年代里，马斯顿和他的同行们又发展了这种理论。但是，这一理论在 20 世纪 40 年代以前几乎没有用于排污管的实际设计方面。只是在战后一段时间里，它才传播到美国之外。

同时，先前认为排水管道必须是刚性结构的概念——它在许多情况下需要用大量的混凝土支撑物，开始让位于更具柔性管道的想法。通过柔性接头的新设计及铺设管道技术上的改进，柔性管道的铺设成为可能。

55.10 污水处理

19 世纪后 20 年中，净化污水方面经历了一场重要变革，关键因素是巴斯德、施勒辛（T. Schlösing）、蒙茨（A. Muntz）和韦林顿（R.Warington）等人对细菌特性和活动的研究所取得的新知识。即使人

1388

们尚未彻底弄清细菌对所有有机物的分解和氧化作用，但已经全力以赴地寻找如何利用庞大的微生物群体力量的方法，以便将其自然过程

集中到人工处理厂的小范围内。

生物过滤 在1900年前后的一段时间里，人们的注意力主要集中在通过固体介质实现污水的过滤。这种方法首先经历了19世纪50年代进行物理过滤的不成功尝试，随后在1868年出现了弗兰克兰（Edward Frankland）的间歇下降过滤。1892年，迪布丁（W. J. Dibdin）的填料吸附接触过滤床问世。19世纪90年代，出现了多种形式的好氧和厌氧过滤器。此时，人们已认识到了好氧生物过滤的基本特点。正如马萨诸塞州的劳伦斯（Lawrence）实验站所表述的那样：“滤料微粒之间具有空隙，覆盖在其表面极薄液膜的缓慢移动，足以使空气不断地与液膜相接触。”这为保留在活性膜中的大量细菌和其他有机体的生长提供了必要条件，因为在污水中含有细菌赖以生存的各种各样的有机能源和食物，还有大气中的氧气和水分。

将污水喷洒到过滤床的表面是这种形式生物过滤的主要工程要求，各个厂家不久便研制出来。从1894年起，用于圆形和长方形过滤器的分布器取得了专利，它们靠污水的射流作用或污水在水轮上的流动，以及柴油机或电动机的驱动作用而旋转或移动[7]。

接触滤床是由一个不漏水的槽里装填粗糙焦炭、石料或其他填料组成的，污水流入和排出交替进行，在里面滞留一小时或数小时，从而提供了又一种连续的生物处理法。

1898年，由伊兹利（Iddesleigh）勋爵任主席的英国皇家污水处理委员会对上述两种方法进行了周密研究，并在1908年[8]出版的第5份报告中得出结论，认为就同体积的污水而言，过滤器处理污水的速率为接触床的两倍。几乎在所有方面，过滤器都是理想的污水处理工具。从那以后，少数接触床在市自来水公司持续采用到1950年，例如在莱斯特（Leicester）和卡莱尔（Carlisle），但它渐渐被淘汰的趋势已成定局。在20世纪初期，德国采用了折中形式的通气接触床，将空气充进具有连续流动的污水床，而不是间歇流动床。

皇家委员会制定出了令人满意的设计原则和运转效率，这些原则从那时起一直指导着现在称为常规或低速过滤的实际运作。它所提出的设计指导方针十分明确，最后出来的处理水应符合所提出的标准。在美国，那些较大的河流通常能稀释污水，这种高质量的处理水往往不必专门稀释。不过，在高速率运转下的过滤，会因过多生物的生长而造成堵塞。1935 年，人们发现这一困难可以用过滤器处理过的水来稀释污水的办法加以解决。大量污水的稀释，使整个过滤器中的生物生长更为一致。尽管由于速度的增加，处理水的质量有所降低，但在等容量的过滤器里，污水可以被高速处理。

再循环的方法很快被采用，几种不同的处理法均获得专利。第二次世界大战期间，这类工厂在美国军事设施部门大量投入运转。为此，国家研究委员会提出了一份综合性报告[9]，分析了这些工厂的业绩，并对未来高速生物过滤器的设计和操作给予指导。

1935 年，英格兰的水污染研究实验室也发明了交替双重过滤法，以便处理牛奶加工过程中所产生的废水。由于含有大量的脂肪和有机物，这种废水用通常的处理方法无法奏效[10]。连续交替使用两个过滤器的方法最终证明，在不影响水质的情况下，处理家庭废水的速度比常规方法可以提高约一倍。因此，许多市政当局采用这种方法提高已有工厂的处理能力。

活性污泥法　如同污水的生物过滤源自人们尝试集中和加速土壤中的自然净化一样，活性污泥法也是基于人们对发生在河水中的类似氧化过程的观察。活性污泥法早期探索的处理方法，是在露天池中采用各种形式的压力曝气，以保证有充足的氧气来满足未稀释的原污水的需要。

直到 1913 年，这类实验才取得成果。当时，自 1897 年以来专门从事污水曝气工作的福勒（Gilbert Fowler）[11]，向曼彻斯特的同行爱德华·阿登（Edward Arden）和洛基特（William T. Lockett）提出建议，

在分批向污水曝气时，应该保留上一次曝气后沉淀出的污泥部分，并使之与下一批的污水相混合。他提出的这一建议，基于他1912年在马萨诸塞州劳伦斯实验站对一些类似实验的观察。福勒其实很清楚，早在1886年，芒罗（J. M. H. Munro）在对氯化铵氧化反应的实验中就注意到，保留从氯化氨氧化实验中得到的硝化微生物群落能够使随后的实验进程快得多。阿登和洛基特遵循这一建议并发现，通过几次连续的曝气实验增大污泥量，净化一批原污水所需的时间，将从原来的5个星期减少至不到24小时。这种含有大量活细菌的固体物质，被称为“活性污泥”。1914年，这种处理方法宣布成功[12]。

进一步更大规模的实验推动了连续活性污泥法的发展，分离槽中沉积下来的污泥被返送到曝气池中，并与经过沉淀的污水相混合。英国1916年在伍斯特（Worcester）、1917年在曼彻斯特，美国1917年在得克萨斯州的休斯敦（Houston），先后建成了早期连续式污水处理厂。到20世纪20年代初，建立了几套曝气的方法，包括在槽的底部使用多孔扩散盘的扩散法；表面曝气法，在一垂直轴上安装一部半浸没在污水中的转动器，它在工作时可搅动方形槽中的污水（图55.15）；霍沃思（Haworth）或“生物曝气”法，使用大型叶片，沿着一系列狭窄通道——一种人工河，来推动污水使之曝气。1920年，最后这种方法首次在设菲尔德使用。1925年，荷兰采用了另一种表面曝气法——凯西纳（Kessener）转刷系统。

1930年，第一次使用生物法处理伦敦的部分污水，应用的是经过改进的霍沃思系统（图55.16）。1931—1935年间，在莫格登（Mogden）大胆地建起了欧洲最大的活性污泥处理厂，以便为西米德尔塞克斯（Middlesex）的100万人口服务（图55.17），使这方面的工作前进了一大步。这家处理厂用扩散空气处理法取代了已有的28个小污水处理厂，经过这个厂处理后排入泰晤士河的水质量很高[13]。

其他处理方法　进行污水生物处理的第一步是让污水缓慢流经大

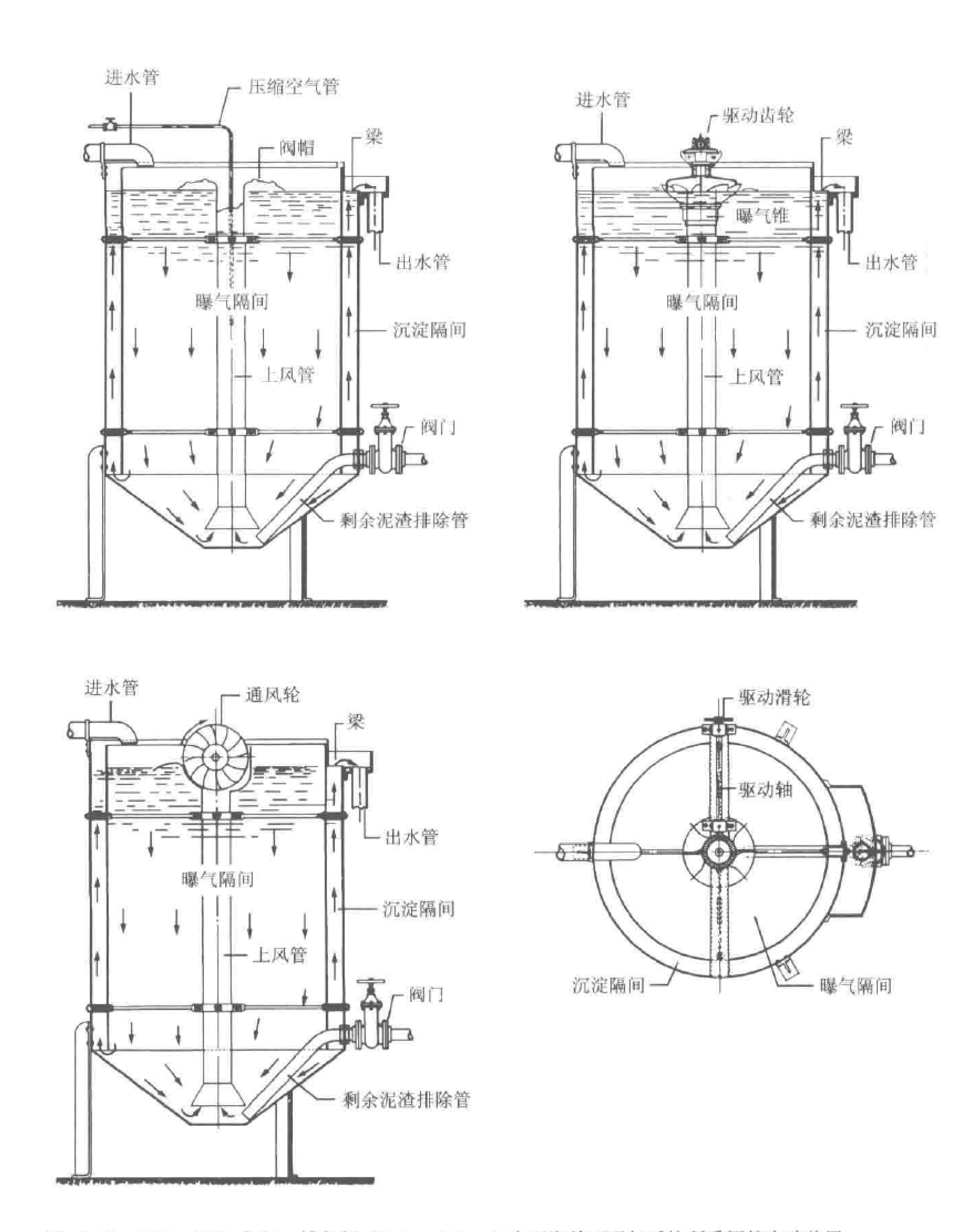


图 55.15　1916—1920 年间，博尔顿（Joshua Bolton）为开发单面曝气系统所采用的实验装置。





图 55.16 活性污泥处理厂，北部排水工程由伦敦地方当局营造。1930 年在建造中（左图），可以看见上、下水道不同寻常的排列。1972 年在运行中（右图），不久即被拆除。

图 55.17 西米德尔塞克斯的莫格登活性污泥处理厂的总排水设备，1936 年。

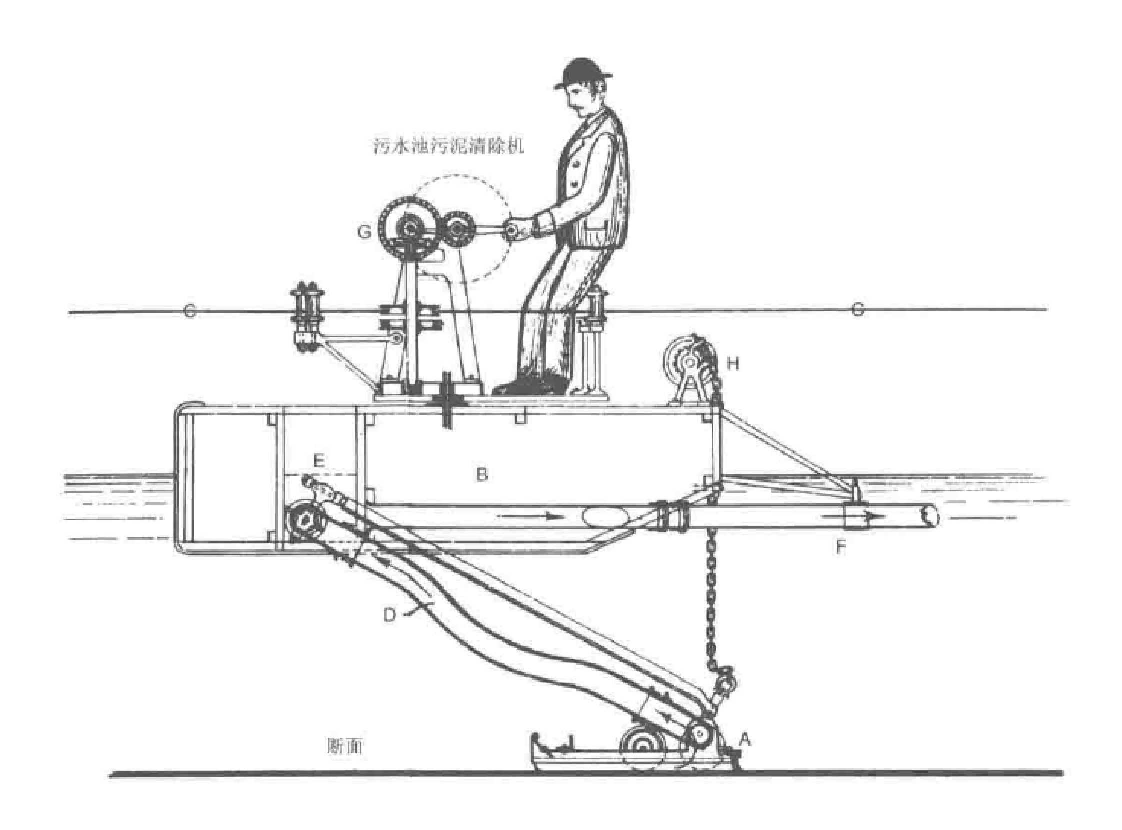


图 55.18　1894 年在索尔福德城，用于沉淀池中清除污泥的科伯特浮桥。

型露天池，污水中大量的悬浮物通过沉积法被去除。早期使用化学物质沉淀污水中悬浮物的方法，在大多数地方逐渐被废止了，取而代之的是简单的沉积法。除了长方形槽外，人们还采用了其他形状的槽，包括圆形辐流槽和锥形或圆筒状深槽。在这种槽中，污水向上流动的速度比悬浮物沉淀的速度要慢。

1393

把上清液经套叠堰或浮堰放掉后，在平底长方形池中所堆积的污泥需要每隔几天人工清除一次。不需抽空污水池而进行清除污泥的尝试，可能是从 1894 年曼彻斯特附近索尔福德（Salford）城的约瑟夫·科伯特（Joseph Corbett）开始的（图 55.18）。总的来说，在使用米德（Mieder）刮泥板之前，一直是采用手工法。米德刮泥板有一个刀片悬于移动式桥上，它在 20 世纪 20 年代由德国采用，1934 年传入英国。

1394

用于圆形池的旋转刮泥板，已经使用了许多年。清除过筛物及沙砾的初级处理法，至少在较大的工厂达到一定程度的机械化。大约在

1930年前后的一段时期，机械化设备才得以更为普遍地应用[14]。

污泥消化 从沉淀池中清除出来的污泥，实质上就是原生污水更浓缩的形式。由于这种污泥易于腐化，有气味、富油脂，且含水量超过98%，脱水在很大程度上难以办到。因此，处理污泥往往是一件很麻烦的事情。

1860年法国穆拉（L. Mouras）和1895年英国埃克塞特（Exeter）城的卡梅伦（D. Cameron）的自动净化机中，化粪池原理的应用，为改进污泥的处理方法提供了思路。人们已经注意到，在化粪池中被厌氧细菌消化或发酵的污泥的稠度一致，本身无害，在消化过程中所产生的气体——主要是甲烷，也是一种有用的燃料，卡梅伦曾用来为工厂照明。1907年，在孟买附近的一个麻风病收容所，詹姆斯（C. Carkeet James）用化粪池产生的气体驱动一台1.5马力的发动机。在澳大利亚的帕拉马塔（Parramatta），污水的抽吸由这种气体提供动力。

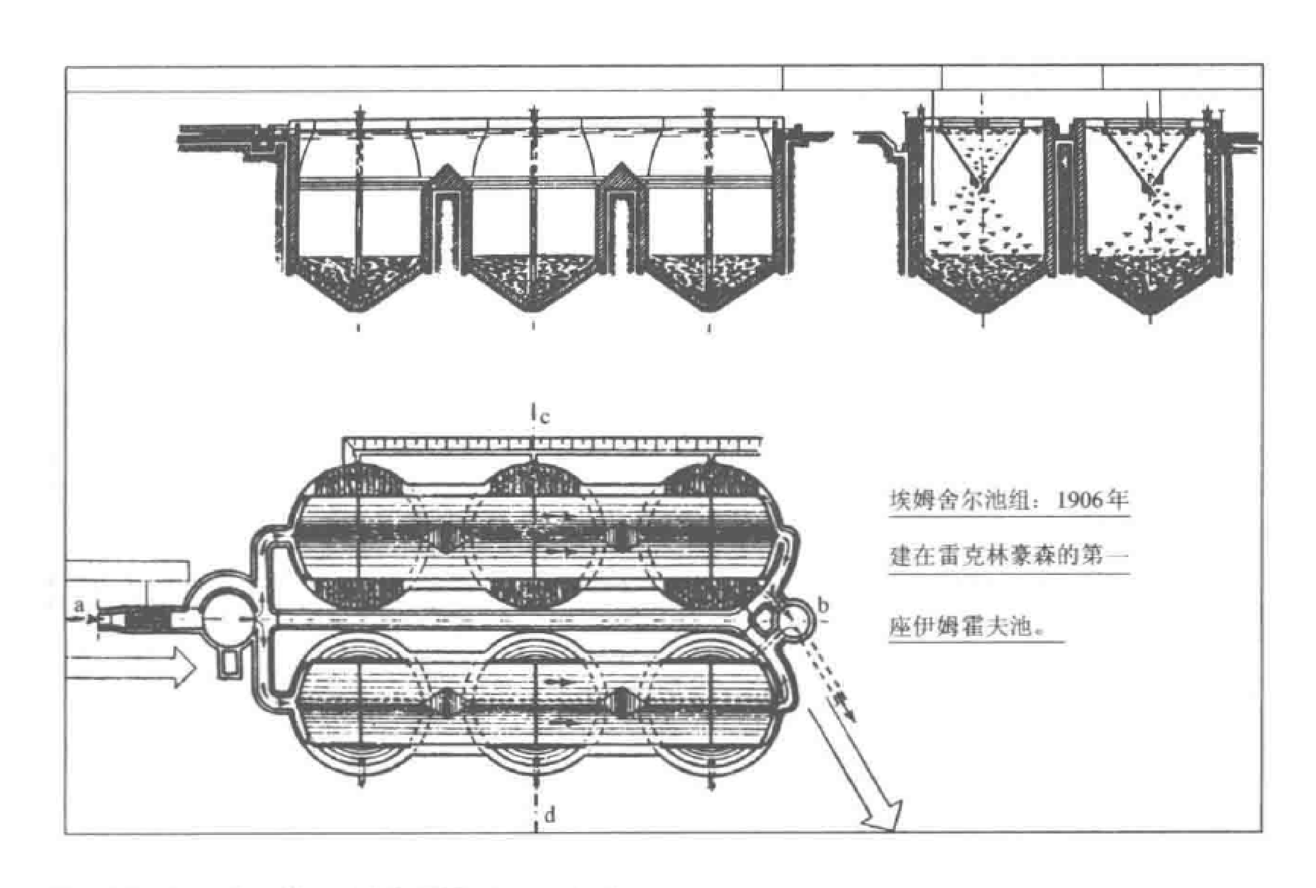


图55.19 1906年，第一座伊姆霍夫（Imhoff）池。

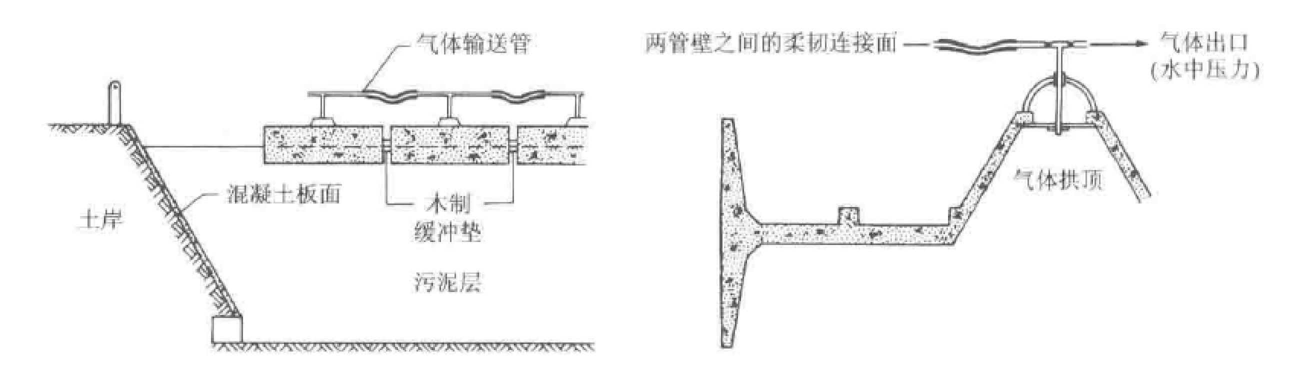


图 55.20　1927 年在伯明翰的装有浮动贮气罐盖的污泥分解槽。

大约在 1904 年，德国污水处理的先驱伊姆霍夫（Karl Imhoff）获得了双层沉淀池的专利。这种沉淀池中的污泥，在与污水的液体部分不相接触的低室里进行分解（图 55.19）。在德国、荷兰和美国，伊姆霍夫或埃姆舍尔（Emscher）槽得以普及，气体都被收集起来加以利用。在英国，这种沉淀池用得不多。1909 年，沃森（J. D. Watson）在伯明翰的明沃兹（Minworth）成功地进行了污泥的处理，将污泥从污水中分离出来后，抽入一个大贮留池中。1911 年时，这一办法已经被大量采用。1927 年，装有浮动贮气罐盖的特制污泥消化池制造成功（图 55.20），产生的气体用于驱动 150 马力电动机进行发电[15]。在寒冷的天气，污泥进入消化池之前需要注入蒸汽进行加温，伊姆霍夫强调了在消化污泥过程中保持高温的重要性。从 1927 年起，在密封罐里进行污泥处理的做法变得普遍，罐里的最佳温度约为 35℃（通过燃烧一部分自身产生的气体而加温）。增加后的气体产量，使许多工厂用于抽水和空气压缩的动力能够自给自足。

1395

55.11　水污染

污水系统的广泛兴建，意味着大量污染物（通常未经处理，或只经部分处理）将从居民住宅附近注入江河。工业废水也不例外，而且它的数量、体积和种类还在不断增加。

河流污染的状况要求在技术方面进行调查研究，同时要求立法和

行政部门采取行动。早些年间，英国皇家污水处理委员会响应这一技术要求，发起了对处理方法和水污染现象进行多方面的研究。委员会制定了污水分析步骤标准，尤为重要的是提出了生化耗氧量（BOD）的5日测定实验，还提出了污水处理后的质量标准[16]。根据广泛采用的"皇家委员会标准"，在大多数情况下，废水适于流入英国河流中。在半个多世纪里，英国控制污染当局及其他一些国家将它作为排放废水标准的常规依据。一个工厂只要正常运转而不超负荷，便能通过生物过滤和活性污泥处理法达到这些标准。毫无疑问，这一事实使工厂的经理们受到鼓舞。

在政府和各地有关部门及高等学校里，许多化学家和生物学家在认识水污染的工作中同样作出了有价值的贡献。然而，由于皇家委员会在1915年被解散，英国的官方研究中断。直到1927年水污染研究实验室建立后，这种情况才有好转。

事实上，立法工作进展很慢。《河流污染防范法案》从1876年一直沿用到1951年，但是没有适当的行政部门来实施法案中所表达的良好意愿，它的效力大为降低。1948年以前，人们一直坚持排水和污染控制应以天然河域为基础，而不应人为地划定界线，这一争论持续了100多年仍无结果。直到在英格兰和威尔士成立了32个河流委员会（加上已有的泰晤士河和利河河道管理局），才有了一定进展。为了对河流状况进行积极的改进，1951年的《河流污染防范法案》和后来的立法要求赋予河流委员会及后继者以足够的权力。

与此同时，1937年的《公共卫生（行业建筑物排水）条例》明确规定，英国的工业污水须向公共管道排放，与民用污水一起处理。由于这样的严格限制，直接排入河流中的污水量得以减少，污染程度也得以降低。

在德国，随着负责河流管理和水质控制的特别河流协会的建立，鲁尔工业区特别严重的工业污染得到治理，包括污水和工业废水处理

工厂的建设和运转。其中，第一个出现的埃姆歇社在1904年成立[17]。

1397

在美国，这个时期的水污染立法主要由各州进行。在河水跨越州界的情况下，州际机构之间的某些合作是必要的。例如，1948年建立的与8个州有关的俄亥俄河流水环境卫生委员会（ORSANCO），便被授权管理整条河流的污染。还在这一年，《水污染控制条例》通过以后，联邦政府在统一的全国性控制污染方面取得了一些进展。

其他国家尤其是一些欧洲国家，同样承受着日益恶化的下水道与河流的工业污染。每个国家都以各自的方法来解决这些问题，包括科学研究、基础建设和立法[18]。然而，总的来说，这些努力只不过是将污染拒之门外。20世纪30年代期间出现的进展势头，随着第二次世界大战的爆发而停顿下来，庆幸的是在1945年以来又得以恢复。到1950年，考虑到未来的需要，随着国际在知识和观点方面的交流越来越多，减少水污染的各种方法得到更广泛的认识并付诸实施。

相关文献

[1] Kuichling, E. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **20**, 1–56, 1889.

[2] Lloyd-Davies, D. E. The elimination of storm-water from sewerage systems. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **164**, 41–67, 1905–1906.

[3] Ormsby, M. T. M. Rainfall and run-off calculations. *Journal of the Institution of Municipal Engineers*, **59**, 889–894, 1933.

[4] Hart, C. A. Rainfall and run-off (Correspondence). *Journal of the Institution of Municipal Engineers*, **59**, 978, 1933.

[5] Bilham, E. G. Classification of heavy falls in short periods. *British Rainfall, 1935*, pp. 262–280, H. M. S. O., London. 1936.

[6] Marston, A. The theory of loads on pipes in ditches. *Iowa Engineering Experimental Station*, Bulletin No. 31, 1913.

[7] Stanbridge, H. H. The introduction of rotating and travelling distributors for biological filters. *Water Pollution Control*, **71**, 573–577, 1972.

[8] Royal Commission on Sewage Disposal. *Fifth Report*, Cd. 4278, H. M. S. O., London. 1908.

[9] National Research Council. Sewage treatment at military installations. Report of the Sub-Committee on Sewage Treatment in Military Installations of the Committee on Sanitary Engineering. *Sewage Works Journal*, **18**, 787–1028, 1946.

[10] Department of Scientific and Industrial Research, *The treatment and disposal of waste waters from dairies and milk products factories*. Water Pollution Research Technical Paper No. 8, H. M. S. O., London. 1941.

[11] Fowler, G. J. *An introduction to the biochemistry of nitrogen conservation*. Arnold, London. 1934.

1398

[12] Arden, E. and Lockett, W. T. Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filers. *Journal of the Society of Chemical Industry, Lond.*, **33**, 523–539, 1914.

[13] Watson, D. M. West Middlesex main drainage. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, **5**, 463–568, 1936–1937.

[14] Cargill, J. D. A history of sewage works' machinery. *Water Pollution Control*, **74**, 430–454, 1975.

[15] Watson, J. D. Presidential Address, *Journal of the Institution of Civil Engineers*, **1**, 15–34, 1935.

[16] Royal Commission on Sewage Disposal. *Eighth Report*, Cd 6464, H. M. S. O., London. 1912.

[17] Fair, G. M. Pollution abatement in the Ruhr district. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **34**, 749–766, 1962.

[18] World Health Organization. *Control of water pollution, a survey of existing legislation*. W. H. O., Geneva. 1967.

参考书目

（a）总论：

Sidwick, J. M. and Murray, J. E. A brief history of sewage treatment. *Effluent and Water Treatment Journal*, **16**, pp. 65, 193, 295, 403, 515, and 609, 1976.

Stanbridge, H. H. *History of sewage treatment in Britain*. Institute of Water Pollution Control, Maidstone (Published in parts from 1976).

[Eleven parts published up to October 1977 ; Introduction of the water-carriage system ; Preliminary treatment and treatment of storm sewage ; Chemical treatment ; Removal of suspended matter ; Land treatment ; Biological filtration ; Activated sludge process ; Tertiary treatment ; Anaerobic digestion of sewage sludge ; Preliminary treatment and conditioning of sewage sludge ; Dewatering and drying of sewage sludge.]

（b）专论：

Cargill, J. D. A history of sewage works' machinery. *Water Pollution Control*, **74**, 430–454, 1975.

Stanbridge, H. H. The development of biological filtration. A series of articles starting in *Water and Sanitary Engineer*, **4**, 297（1954）and concluding in *Water and Waste Treatment Journal*, **7**, 352, 1959.

Symposium on the evolution and development of the activated sludge process of sewage purification in Great Britain. *Journal and Proceedings of the Institute of Sewage Purification*, Part 3, 174–272, 1954.

感谢下列团体对有关污水处理的其他相关历史记述提供的帮助：
水污染控制研究所（前污水净化研究所）
土木工程师研究所、公共卫生工程师研究所（前环境卫生工程师研究所）
化学工业学会以及水污染控制联合会（美国）

第56章 # 食品工艺

J. B. M. 科波克（J. B. M. COPPOCK）

第1篇　食品科学进展的背景概述

56.1　19世纪的遗产

如何把食品处理得更加美味可口，或在盈余时将食品贮藏起来供匮乏时享用，这一问题实际上同人类文明本身一样历史悠久。的确，食品工艺的发展带来了日常生活的稳定，否则人类就不可能实现由古代的游牧方式到城市社区生活方式的转变。正因为如此，食品工艺才成了本书前几卷一再论及的主题。虽然现在论述的是20世纪前半期的食品工艺，它在这一时期呈现出规模巨大、高度组织化的蓬勃兴起，但我们不能完全不提及上一世纪的食品工艺，尤其不能不涉及19世纪后期的实践，因为现代加工工艺就是直接从那时的实践中发展演化而来的。原料的碾磨和粉碎、热处理、脱水、涉及酶的生物加工工艺、化学防腐剂的添加、天然毒素的避免或消除等等，这些仍然是食品加工中不可缺少的工艺。20世纪所发生的两次世界大战，如同以前的许多重大战争一样，对食品工艺的发展起到了强有力的促进作用。由古老工艺产生的效果可用新兴工艺取得，例如冷冻贮藏取代了以往天然冰的使用，冷冻干燥法或其他脱水工艺取代了利用太阳能的干燥法。对公众健康的日益关注，导致了许多保护消费者法规的制定。19世纪食品工艺的新发展，在本书的前几卷中已有一些篇幅进行过较详尽的讨论（第Ⅴ卷，第2章），现在我们仅扼要地阐述一

下对20世纪食品工艺发展起过奠基作用的那些事实，这是本卷的着眼点。

在食品制作方面，食品品种之多、数量之大，使现代食品工业在19世纪末稳固地建立起来。法国的阿佩尔（Nicolas Appert）采用的将食品装进玻璃瓶中、热处理后密封保存的方法，很快传向国外。大约在1814年，英国率先对这一方法进行了重要改进，用马口铁罐代替玻璃瓶来保存食品，后来在美国也这样做。用马口铁罐封装食物的办法，是英国人安德伍德（William Underwood）在1817年推行的。鱼罐头很快就在纽约制成，安德伍德又在波士顿制作了肉罐头，这是1819年的事情。然而，直到19世纪30年代末，各种罐头食品才在美国普及开来。1848年，罐装法传入新南威尔士。一个世纪后，仅美国每年就要食用100亿听罐头。罐头加工业成为世界上钢和锡的最大消费行业，而且这一新兴工业明显影响了整个农业的生产模式。

在法国，还兴起了另外一门重要的食品加工业——人造黄油加工业。拿破仑三世（Napoleon Ⅲ）政府推出重奖，鼓励新工艺发明者生产像天然黄油一样稳定、口感好和富有营养的人造脂肪，主要目的是满足军队和生活贫困者的需求。1868—1870年，梅热-穆列斯（Hippolyte Mège-Mouriés）发明了人造黄油。1870年，巴黎附近的普瓦西（Poissy）建立了第一家生产人造黄油的工厂。人造黄油生产的基本工艺就是用牛奶乳化动物脂肪，用天然食用色素进行着色等。19世纪末至20世纪初的研究工作发现，各种不饱和油脂流动性太大，不易制成人造黄油，但在用镍做催化剂的情况下，通过萨巴蒂埃-桑德勒斯（Sabatier-Senderens）反应，用氢还原，可使不饱和脂肪酸含量多的油“固化”。从此，人造黄油工业同罐头制造业一样迅速发展起来。到20世纪中期，世界年产量超过了50亿磅。与此同时，为了提高人造黄油的营养价值，添加维生素A和维生素D成了普遍采用的手段。

在食品工艺中还有一项重大的改进值得回顾，这就是用冷藏法大规模保存食物。大约在1870年，美国曾用冰和盐的混合物来冷冻肉，并成功地运往英国销售。除了一些固有的缺点外，这种方法也不适于长途海运，例如澳大利亚、新西兰及南美洲等新兴的肉类生产中心必须采用机械冷藏设备。1877年，特列尔（Charles Tellier）将冻肉从南美洲经过104天的航程运到法国。3年后，40吨冻牛羊肉从澳大利亚出发运抵伦敦。鱼是极易变质的，人们对于鱼的冷冻保藏的重要性早就有所认识。19世纪中期，鱼从渔场运到市场，一直垒放在冰中（第14章）。包括鸡蛋在内的其他一些食品，大约从1890年也开始冷藏，不过是大批量散装。水果和蔬菜保鲜碰到了许多困难，直到20世纪才得以克服。这方面的具体内容，我们将留到后面的章节再进行论述。

牛奶是另一种日常基本食品，变质极快。19世纪末以前，最先在瑞士，接着在英国，人们已经能够生产炼乳和奶粉等产品。奶酪的生产是保存牛奶营养成分的最古老方法之一，当时的生产方式同炼乳和奶粉一样，开始从小规模农场生产向工厂化过渡。在19世纪80年代，工厂化生产的奶酪在北美和澳大利亚很有名气。

在实践中取得上述进展的同时，人们对食品保藏的基本原则以及对人和动物营养知识的了解也在不断深化。巴斯德（Pasteur）的研究工作为认识微生物在食品腐败中的作用开辟了道路，同时也对传统的防腐保鲜方法作出了合乎逻辑的解释。这些发现随后都在实践中得到运用，奶酪生产就是其中之一。19世纪末期，格拉斯哥和西苏格兰工学院的德拉蒙德（R. J. Drummond）和坎贝尔（J. R. Campbell）发现，用乳酸发酵的纯培养基可以避免奶酪熟化时变色。营养学领域已经确认，肌肉并不像李比希（Liebig）所推测的那样从氮元素中取得能量，而是从来自碳水化合物氧化的过程中获取能量。20世纪初，英国甚至将营养学作为“生活常识”课程的教学内容。

上述这些技术的发展，对满足急剧增加的人口，尤其对日益集中在城市地区人口的食品供应是大有裨益的。遗憾的是，许多对消费者不利的因素也随之产生。例如，有些食品加工方法可以提高食品的质量，并使之易于保藏，有些方法则对人有害。不管是出于无知还是贪财，在食物中掺假的问题在19世纪日渐严重。当然，掺假现象并不只是出现在这个时期。举例来说，在中世纪的后期，伦敦食品公司就曾接受委托采取措施，保证胡椒和其他调味品的纯正（第Ⅱ卷，边码128）。

1402

到19世纪，食品生产的重心开始从家庭转向工厂，食品掺假现象有增无减，成了令人不安的问题。英国早期有关禁止食品掺假的立法，在1822年和1836年通过的议会法案中得到体现，但包含的实施条例不够完备。这些法案能够通过的一个重要因素，是受了弗里德里克·阿库姆（Frederick Accum）的影响，1820年，阿库姆出版了《论食品的掺假及烹饪中的毒素》（*Treatise on the adulteration of food, and culinary poisons*）一书，序言恰如其分地引用了圣经中的一句话——“人之死，源于锅釜之中”。从他提供的几百张插图中，我们可以见到腌泡菜时用铜币染色（制作泡菜时放进一枚半便士的铜币一起煮沸）使之变绿，提取醋的酸味，用有毒的月桂叶做调料品，等。因为无知（而非贪婪），人们用有害的铅制或锡镴制器皿贮存橄榄油，防止腐败。人们有时还在波尔图葡萄酒中放入铅丸来制造沉淀，显示出陈年佳酿的样子。

1850年，英国医学周刊《柳叶刀》（*The Lancet*）发起一个反对食品掺假的运动，大胆披露了一些具体案例。经过1855年的调查研究后，《防止食品及饮料掺假法》予以颁布（1860），销售含有对人体有害的食物在英国成了违法行为。这一法案还规定（不是强制性的），某些地方当局可以聘用分析化验师。到了1872年的《防止食品及药物掺假法》中，这一规定变成了强制性的，而且将

聘用分析检验师的权力赋予设有警察机构的市镇。此后，1875 年又通过了一个补充法案，它在国际上被认为是奠定了现代食品法的基础。

任命公职分析检验师的做法，在食品工艺的发展中是一项极重要的措施。它促使许多食品制造厂商不得不去自行聘用化学师，以使自己的原料和成品的纯度始终都能达到政府所要求的标准。与此同时，改进食品的分析检验手段也引起关注。在英国，《食品及药物销售法》(1899) 规定，人造黄油中的天然黄油掺入量不得超过 10%。令人遗憾的是，当时常用的一些分析检验手段得不出肯定的结果，而且各地食品分析检验人员发现自己分析的结果总是与伦敦萨默塞特宫的政府分析师不一致。索普爵士 (Sir Edward Thorpe) 是皇家理学院的一位化学教授，在创建政府化学师办公室（后来还附有一独立的化学实验室）方面，立下了汗马功劳，也是这一机构的首任负责人 (1894—1909)。任期满后，他又继续自己的学术研究。索普创立的机构非常关心食品的分析检验，目的是为了增加政府的税收。1900 年前，美国有许多州通过了主要与奶制品有关的反掺假法。第一部完整的法律是 1906 年颁布的《食物及药品法》，它不仅涉及人和“其他动物”，也适用于动物饲料。

1403

56.2 20 世纪的食品科学理论及实践

与 19 世纪一样，20 世纪期间的战争需要促进了食品业科学技术的发展。在英国，情况尤其如此。这个国家曾经面临敌人日益严重的封锁，食品又主要依赖进口。1917 年，英国成立了食品调查委员会，第一任主任是被很多人视作食品科学之父的哈迪爵士 (Sir William Hardy)。委员会取得的立竿见影的成效是，政府先后在比林斯盖特 (Billingsgate) (1918) 和剑桥 (1922) 建立了低温研究所。1919 年，又建立了莱昂斯 (J. Lyons) 实验室有限公司、大型面包厂、糖果厂及饭

店等。由政府和企业界联合资助的第一家联合研究组织，也在这一年建立起来，这就是英国可可、巧克力、糖果及果酱研究协会。1923年，又成立了英国面粉加工业研究协会。在阿伯丁，开办了至今闻名世界的渔业研究中心——托利研究中心（Torry Research Station）。另外，还设立了两个农业研究机构，一个是位于苏格兰的汉纳（Hannah）研究所，另一个是雷丁附近位于欣费尔德（Shinfield）的国立乳品研究所。到1920年，食品科学技术的研究进程逐渐发生了变化，在英国表现为从偏重食品法规和标准的制定到注重积极研究食品，尤其注重生物化学和营养价值方面的研究。显然，对食品性质的研究成为单独的一门学科，涉及化学、物理学、生物学、生理学和营养学，在某种程度上还包括心理学方面的知识。莱昂斯·凯德比·霍尔（J. Lyons Cadby Hall）实验室的负责人哈迪爵士和兰皮特（Leslie H. Lampitt）当时就意识到，食品技术人员与食品科学家一样，要进行多方面的训练，必须具备各种素质，因为食品技术主要是食品科学在食品加工过程中的运用，其中包括新技术、新工艺流程的开发等。

细菌及其他微生物在罐头食品安全生产中事关重大，人们现在对此已有清醒的判断。食物中毒或腐肉中毒是病原菌繁殖产生毒素引起的，发现这一点也同样具有重要意义。因此，自1920年以来，食品卫生成为事关重大的问题。人们认识到，食品管理不善，有引起传染病的危险；不注意个人卫生，会使疾病交叉感染；动物饲料未经加热处理也可引起传染病，例如在家禽中引起沙门氏菌传染病。现代食品加工技术的发展，使上述危险降到了最低限度。许多国家实施的食品卫生法产生了很好的效果。在美国，所谓的“污物”法规大大发挥了认识“良好家政”在推广卫生习惯方面的作用。这一法规的有关条文规定，凡是销售含有啮齿动物的毛发（排泄物污染的标志）或昆虫肢体（与昆虫污染有关）的食品者，要处以重罚，因为两者均属管理不善。卫生措施的改善在屠宰工厂极为明显，20世纪60年代就有两项

改进措施，一项是将牛屠宰后立即垂直悬挂起来放血，而不是任其躺在地面的血泊中（往往是黏糊糊的血），另一项是悬挂起来自动剥皮（图 56.1），这样可以省掉切割肛门这道工序，肛门是受细菌污染严重的部位。人们认识到，运输过程或送宰前圈栏中的照料和环境条件，能对畜肉质量产生极大影响，对猪的影响尤为明显。因此，肉的卫生和原色原味方面有了很大的改进。有趣的是，源自卫生要求的食品包装，现在被许多国家的供应商用作识别产品、吸引顾客和说明产品类别与性质的手段。除此之外，在美国的食品包装上，还自愿向顾客提

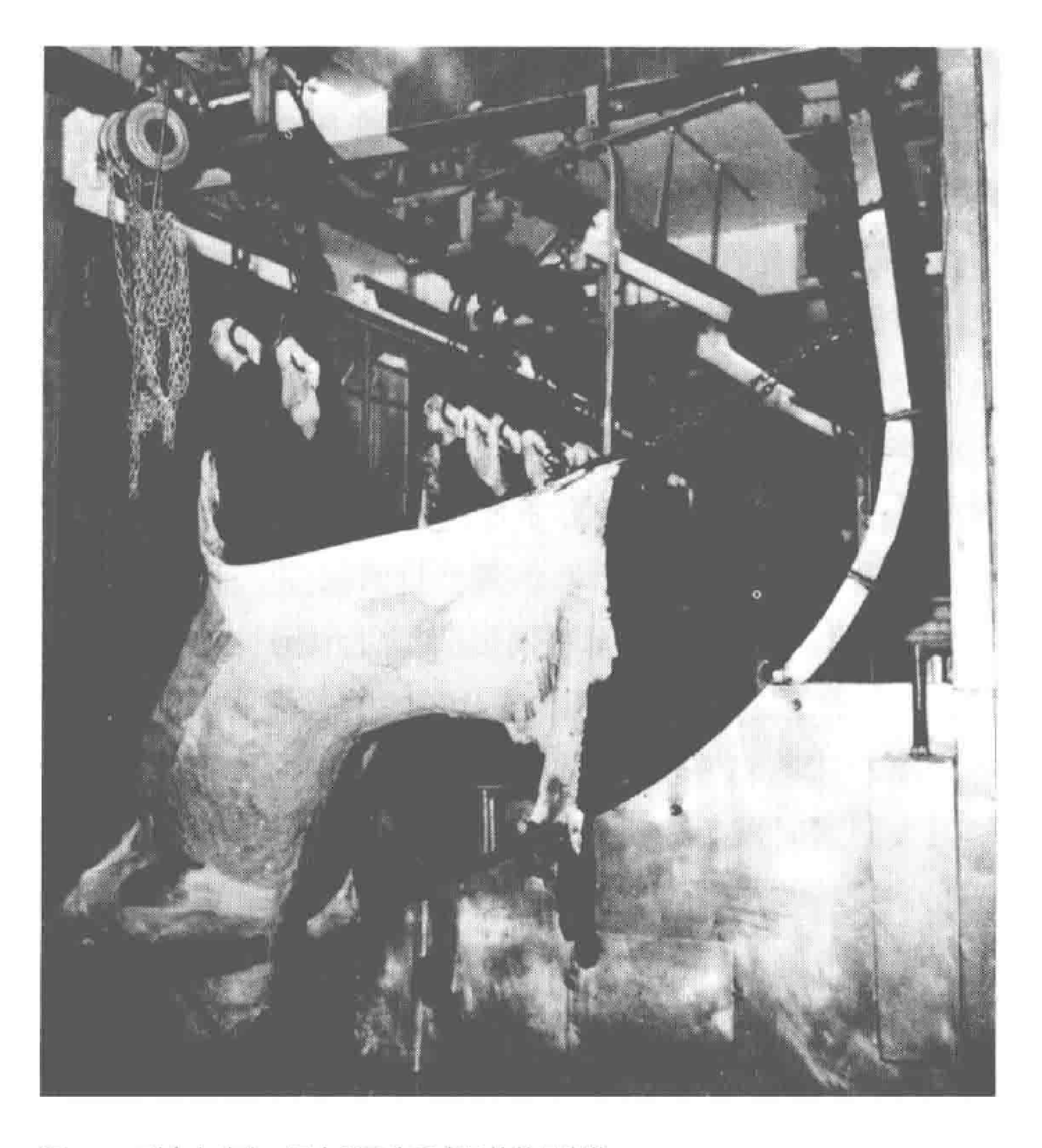


图 56.1　剥皮自动化。图中所示为垂直悬挂的屠宰物。

供所售食品营养价值方面的信息。

从1920年到第二次世界大战爆发这段时期，特别引人瞩目的是发现了维生素和一些矿物质在动物和人的营养方面所起的作用。生物化学及营养学研究中的另一项进展是饲养实验，它现在已经成为营养学专家或毒物学专家经常使用的一种常规研究手段，目的在于确定食品中的添加剂是否安全。到20世纪30年代，人类对维生素A和复合维生素B，尤其是维生素B_1、B_2、B_6及烟酸的需求，对维生素C和维生素D的需要，都已经被清楚地认识到，同时认识到维生素D缺乏与钙不足密切相关。

由于不同的维生素对于热（和光）反应不同，特别是维生素B_1和C两者热稳定性均较差，促使科学工作者研究食品加工中的营养损失问题。很显然，罐头加工过程中营养会流失，听装蔬菜中的维生素B_1及维生素C的损失高达40%，加工马铃薯脆片时的维生素C损失比例大致相同。运用现代化的加工方法，可以使损失减少一些。人们常常寻找一些方法来恢复失去的营养素，但如何食用罐头食品也相当重要。例如，如果家庭主妇将添加过维生素的听装新鲜马铃薯罐头中的上层清液倒掉，然后再将马铃薯倒在普通的水中加热，那么，强化加入的维生素C的营养价值就会全部失掉。

1405

20世纪60年代后期，开始采用新型的牛奶长期保鲜法。这是一种超高温消毒法（UHT），至少在135℃的条件下消毒一秒钟以上，然后在无菌条件下装进软包装袋内，使牛奶中的营养成分极少或完全不受损失，同时避免牛奶中的蛋白质因受热而造成的损失。与玻璃瓶不同，这种软包装袋具有不透光的优点，不会因光的照射而使维生素受破坏。强烈光线照射的结果，往往伴随着食品滋味的改变。由于商店和超级市场中普遍采用明亮灯光照射食品陈列橱柜，食品味道发生变化的问题也逐渐受到人们的关注。

上面引用的事例都发生在比较近的阶段，揭示了保持食品的营

养价值、避免发生营养缺乏症的重要性。第二次世界大战中，英国食品部就相当重视食品的营养价值，例如给人造黄油强化维生素A和D。大战爆发前夕，多兹（Dodds）教授（后来的查尔斯爵士）就提出过，恢复出粉率为72%的白面粉在碾磨加工过程中所失去的部分营养物质（主要是B族维生素、铁及烟酸）。值得庆幸的是，早在1939年前，莫兰（T. Moran）和他的英国面粉加工业研究协会的同事们就测定了麦粒中各种维生素含量的分布，因而当战争爆发时，设计生产出粉率为80%左右的面粉碾磨加工工艺成为可能，这种工艺能保存面粉中大量的B族维生素，对保证良好的营养极为重要。从一开始，美国也进行了类似的有关营养方面的研究。研究资料告诫人们，每日必须合理地摄取能量及营养素，以保证身体健康。这些有关食品及营养的基本知识得以广泛传播，还要归功于第二次世界大战结束后不久成立的联合国粮农组织（FAO），以及世界卫生组织（WHO）的支持。为改进世界各国人民的营养条件、食品及农业生产的状况，联合国的这两个组织一直不懈努力。他们特别关注食品营养低下的发展中国家，那里的营养不良情况非常严重，尤其是在儿童中蔓延的夸希奥科病（kwashiorkor）——一种蛋白质缺乏症。

1406

第二次世界大战对食品加工的规模和性质产生了深刻的影响，其中的大部分情况我们将在本章的第2篇进行论述。为了节省运输途中宝贵的仓位，需要把待运食物中的水分去掉，研究者为此做了大量的工作。采用喷雾干燥生产蛋粉，就是这种革新之一。但是，随之产生的细菌污染问题一直到战后才得以解决，以致许多人仍将食物中毒及食品变味问题同它联系在一起。战争期间，许多替代食品得以发展，一些替代食品中含有食品添加剂，这些添加剂对人体健康的危害鲜为人知，这一点现在已经变得很清楚了。1925年，《大众健康（食品中的防腐剂等）条例》规定，严禁在食物中添加防腐剂，确需添加的个

别例外情况则要标示说明。1929 年,《人造乳酪法》得以采用，因为人们发现这种产品是由乳化黄油、脱脂奶粉和水为原料制成的，虽然出售价格比奶油要低一些，但两者所含的化学成分基本相同。1938 年的《食品和药品法》第一次将食品及药品法规同与食物有关的大众健康法规合并成文，其中包括对食品和药品上的虚假或误导性标签和广告的惩罚。虽然有了 1943 年的（食品出售）保护法规，战争时期的政府应急权限法却使得英国地方当局和政府食品分析化验人员难以提起诉讼。然而，美国和加拿大的食品法当时还是有效的，强调的重点不是在于食品中严禁使用某些物质，而是对那些允许使用的物质作出更具体的细节要求。1955 年统一的《食品和药品法》中规定，英国内阁被授予权力来制定有效的法规。由于食品标准委员会和食品添加剂及食品污染委员会的努力，一系列的食品法规相继制定出来，其中有关于食品添加成分的使用问题等。这些法规同美国、加拿大及共同体市场（E.E.C.）的有关法规有相似之处，但并不完全相同，差别主要是因为不同民族的口味及习惯不同。要使英国食品法同共同市场的其他国家的食品法协调一致，需要一段时间。不过，只要有可供选择的指导性条款，就意味着如果欧洲共同体市场的国家有了明确意愿，他们会按照本国人民的饮食习惯来进行食品立法。

1407

第二次世界大战所产生的更深远的影响，是使食品科学和食品工艺成为高等院校中的独立学科。美国最先看到了这种需要，例如加利福尼亚大学戴维斯分校就设立了这样的院系，而且在世界上赢得了很高的声誉。20 世纪 50 年代初期，英国在韦布里奇建立了国立食品工学院。1958—1964 年，食品科学中第一门学位课程在格拉斯哥大学讲授，后并入思克莱德大学。这所大学和伦敦伊丽莎白王后学院一道，成为第一批在英国设立食品科学和营养学系的高等学校。此后，食品科学系相继在英国的其他大学建立起来。在爱尔兰也有类似的发展，

例如在科克市就有着活跃的食品加工业。

第二次世界大战期间，人们还注意到了植物栽培这一重要问题（第Ⅵ卷，第13章）。英国的食品科学家及食品工艺专家早已意识到，制作质量好的饼干同制作面包对小麦性质的要求是不相同的。英国生产的软质小麦适合做饼干，有点像打火石的硬质小麦品种——例如加拿大、美国、苏联和阿根廷生产的小麦——含有谷胶蛋白，与英国小麦相比富有弹性但不易抻拉，因而更适合制作面包。现阶段的面包制作工艺（我们将在后面进行论述）显示了生面团制作技术的进步，软质小麦也能用来制作面包。在面团搅拌过程中，需要在5分钟内输入约5瓦特小时每磅的功。即使这样的制作工艺，也会使面包中的蛋白质含量略微减少，但能使英国比以前较少依赖进口硬质小麦，更多使用本土生产的软质小麦制作面包。如果具备开动某些特殊机械装置所需电能的话，还可以在制作面包时用小麦以外的其他蛋白质来源，例如黄豆粉这类豆科植物种子来补充面包中的蛋白质。采用这种方法，可以在营养状况不良的地区生产出高蛋白质的面包。正如本章下篇所描述的那样，配制面包中使用左旋半胱氨酸盐，还可以省掉某些特殊机械装置的加工。

1408

培育高蛋白质含量的谷物成为全世界植物种植研究的重大课题，目的是为帮助解决全球性的蛋白质缺乏问题。20世纪60年代后期（其实许多年前就已开始），美国培育出了一个改良品种——欧佩克2号（Opaque-2）。这是一个各种必需氨基酸平衡良好的杂交种，具有较多的赖氨酸和色氨酸，蛋白质的含量也从8%—9%增加到10%—12%，对治疗蛋白质缺乏症有着奇特的效果。

从20世纪50年代以来，特里梯克尔（Triticale）品种的培育是植物种植方面最令人瞩目的成就之一。这是一种小麦与黑麦的杂交种，赖氨酸含量比小麦高出10%。它可以在干旱土壤里很好生长，小麦却不行。至于这一品种的产量，则可与在最适宜的气候、土壤、肥料

条件下的小麦产量相媲美(每公顷8000公斤)。食品工艺学家已经证明，这种麦子可以用来制作膨化食品，还能由高能生面团掺合法来制成适用的面包。它做成通心粉后的颜色比用质地坚硬的小麦所做的要黑一些，还可用来做面条、薄煎饼、烙饼及墨西哥式圆饼。显然，这一品种满足了人们的愿望，能够大量地在那些粮食短缺、营养状况不良的地区生产。

食品科学家同食品工艺专家及营养学家的合作，产生了许多社会影响。在发展中国家，对这些科学家工作吹毛求疵的意见，往往出于相当简单的原因，例如高蛋白植物配制食品(Incaparina)有关的问题就是一个例证。这是一种富含蛋白质的婴儿食品，由中美洲及巴拿马营养研究所(INCAP)通过当地食品加工制成，在危地马拉被人们所接受，在哥伦比亚也十分成功并大量生产，然而，它在萨尔瓦多却遭到失败，原因在于危地马拉人把这种食物像玉米一样烹调成薄糊后趁热饮用，萨尔瓦多人则习惯于冷饮这类食品。这样，它就显得太稠了，根本喝不下去。在发达国家，人们怨声载道的往往是食品过于精致。快餐食品的营养价值极低，是一种“徒有热量”的食品，它的发展受到了非议。不过快餐食品对那些嗜食症者充满诱惑力，他们因此而肥胖起来。

1409

食品添加剂的安全性令许多人担忧，然而那些最强烈的批评者也极少对以霉菌毒素形式存在的化学物质提出异议，这些霉菌毒素是由霉变食物的代谢物演变而成的。例如，1960年前后由落花生分离出来的毒性很强的黄曲霉毒素，在落花生上霉烂的黄色曲霉部分呈环状生长。这样，对于20世纪前人们意识到的热带地区用发霉的豆饼喂养家畜而产生的食物中毒问题，终于有了合乎逻辑的解释。这种两分法的观点源自一种错误的认识，那就是天然物质总是安全可靠的，化学添加剂则对人总是存在危险。不管怎么说，食品工艺家的工作应谨慎从事，这一点总是对的，广大公众对食品质量的安

全性十分关心也无可非议。人们不仅关注所用原料的质量控制，还关注原料的一致性、纯度及成品是否会危害人体健康等。食品质量保证是指人们体会到的食品质量的基本特征，包括口感、耐嚼、香味、味道等。不同的社会习惯表明，这些特征在世界各国都不统一，呈现出高度个性化。当今的食品工艺专家必须注意人们选择食品的心理状态，营养学家也同样必须注意，因为人们所爱好的东西并不一定对他们有什么好处，一份营养丰富、搭配合理的食谱才对健康有利。

然而，自从第二次世界大战结束以来，我们共同面临的最严重的挑战，是要给一个人口爆炸压倒一切的世界提供足够的粮食（第V卷，边码823—825），这一问题比迄今我们所讨论的任何问题都更重要。人类的处境是史无前例的，全世界每年增加8000万人口，这意味着每隔6年就产生一个新欧洲。在亚洲，每两年就会增加一个日本。在拉丁美洲人口增长速度最快的巴西，近年来每年增加的人口比苏联增加的还要多，墨西哥的人口增长也大大超过了美国。2400万人口的哥伦比亚，每年增加的人口是英国增加的5倍以上（达80万人），3700万人口的埃及也是如此。

1410

能源危机使养活如此庞大的人口这一问题更为严峻。根据能源利用的观点，按照能量输出与输入的比率，谷物已经成为极重要的食物来源，它在生长过程中有效地利用了太阳能。因此，它们具有的输出能量与输入能量的比值远远大于1。事实上，谷类作物一般是2（小麦为2.3，大麦为1.8，这表明各种谷类作物存在着差异），面包的比值为1.4[1]，确实是一种有价值的食品。在英国，面包仍然为人们提供了日需蛋白质的1/5。马铃薯的比值是1，甜菜糖为0.5，笼养鸡鸡蛋的比值为0.16，肉用家禽类为0.11，肉类也在0.11左右，海鱼为0.073［也就是说，每食用1000卡能量，差不多就得消耗15千卡（大

1 这一数字不包括切片、包装及分发。

约 60 千焦耳）来自矿物燃料的能量，且几乎都来自石油]。因此，我们已经进入了极其复杂的时代，这不是没有预见到，而是尚未做好准备。这一时代的到来，迫使人们改变饮食习惯。我们将在本章的第 2 篇中得出以上推论。

参考书目

Barnell, H. R. *Biology and the food industry.* Arnold, London. 1973.

Chemistry at the Centenary Meeting of the British Association. Heffer, Cambridge. 1932.

Coppock, J. B. M. The evolution of food science and technology in the UK. *Chemistry and Industry*, 455, 1973.

——. Food protein prospects. *Chemistry and Industry*, 292, 1970.

——. The green revolution. *Journal of the Royal Society of Health*, 270, 1974.

——. Triticale. *Nutrition and Food Science*, **39**, 15, 1975.

Davis, J. G. The evolution of food science and technology in the UK. *Proceedings of the Institute of Food Science and Technology*, 111, 1975.

Drummond, J. C. and Wilbraham, A. *The Englishman's food.* Jonathan Cape, London. 1957.

Egan, H., Hawthorn, J., and Hulse, J. Food in the developing countries. *Chemistry and Industry*, 58, 1973.

Filby, F. A. *History of food adulteration and analysis.* Allen and Unwin, London. 1934.

Food and nutrition research, H.M.S.O., London. 1974.

Forbes, H. Rise of food technology 1500–1900. *Janus*, **47**, 101–127, 139–155, 1958.

Hersom, A. C. and Hulland, E. D. *Canned foods.* Churchill, London. 1963.

Kay, H. D. A short history of the Food Group. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **23**, 127, 1972.

Manual of nutrition. H.M.S.O., London. 1976.

McLachlan, T. *History of food processing.* Pergamon Press, Oxford. 1975.

O' Keefe, J. A. *Bell and O'Keefe's Sale of Food and Drugs* (14th edn.) . Butterworth, London. 1968.

Parkinson, C. N. *The law and the profits.* Murray, London. 1960.

第2篇 食品加工及分配

1411

第二次世界大战对于食品加工的规模及特点产生了十分惊人的影响，其中大部分与节省装卸的空间有关，也同食品以脱水的形式贮藏和运输有关，但食品加工的每一领域都受到其影响。现在我们详细地研究一下这些进展。为方便起见，我们从两方面予以阐述，一是有关食品的贮藏，二是有关食品的一般加工工艺。

然而，首先我们必须注意到另外一个影响食品加工的重要因素，这就是消费者购买习惯的改变（图56.2）。如果没有第二次世界大战的干预，人们会更早一些从小型食品店转向售卖多种食品的大型商店。虽然这种变化的趋势在北美开始得要早一些，但自选超级市场及后来的特级市场在欧洲都是战后才出现的。第一家自选商店是1912年在孟菲斯开业的，到1929年就有3000家左右了。在自选商店里，顾客反复拿放所需食品，带来了卫生方面的新问题。为了尽量满足顾客挑选的需要，食品加工厂商就不得不将产品越来越多地以单位重量形式进行包装。在这种商店里，包装面包成了规范。因此，包装日益成为食品生产中的一个重要环节，不单是罐装，还有纸包装。蜡纸是常用的包装材料。第二次世界大战后，聚乙烯及其他塑料也得以应用。塑料瓶同玻璃瓶展开竞争，一整套新问题摆在了食品工艺学家的面前。这些问题包括设计出厚度一致的糕点和饼干来适应统一的包装形式，

保证塑料加工的增塑剂不会渗入塑料袋内的食品和饮料中。这些不断变化的实施标准，也涉及仓储及运输方面的问题。

56.3 食品的贮藏

食品的贮藏方法主要是用来防止活微生物（及酶）引起的食品腐烂变质，以及防止氧化作用对食品的影响。这些贮藏方法可分为以下几个基本类型：

1413

（i）用盐渍、烟熏等方法除去“活性水”；干燥法；冰冻法。

（ii）化学法，例如用二氧化硫或抗氧化剂等作防腐剂，以及在人造空气中贮存某些水果时采用“控制环境法”。

（iii）加热消毒，在罐头加工中就是使用此法。

（iv）使用电离辐射法（此法在英国及某些国家禁用）。

（v）冷却法。

（vi）酶及微生物对食品有所选择，在奶酪制作中就是如此。

（vii）过滤法。

干燥及脱水 脱水法比传统的干燥法要复杂得多，用这种方法处理的食品还必须能够充分地恢复到原来的形状。水和食物的不同成分之间相互作用的方式很重要，它可分为以下3方面：第一，这种相互作用的性质，影响着脱水过程中脱水的难易；第二，恢复原状的速度及完美性，取决于水同固态的脱水物重新结合的方式；第三，这些相互反应对脱水食物中剩余的水分性质产生影响，反过来决定贮藏的效果。由于对这些因素的认识不足，导致某种程度上靠经验来进行各种形式的食品加工的状况，直到最近（指20世纪70年代）才有所改变。

跟用其他方法贮藏食品一样，在使新品系作物具有经得起脱水加工所必需的性状方面，人们取得了很大进展。举例来说，质量令人满意的蔬菜在采集之后，首要任务就是趁着新鲜尽快运到加工厂。在准备干燥的过程中要十分细心，包括将蔬菜切成丁状或条状，然后热烫



图 56.2（a） 20 世纪 20 年代的一家典型的大型食品店。



图 56.2（b） 一家现代化的超市，很少能用手直接触摸食物。

或烫洗，将原料特别是蔬菜经过蒸汽或沸水处理，破坏食物表面上的酶，否则，食品在加工及贮存过程中就会变色、变味。这一方法也能减少细菌的含量，它在加工和销售之间时间间隔较长时非常重要。因此，为了尽量减少风味和色泽上的变化，以及基本营养素的流失，热烫或烫洗必须尽快进行。

1414

在过去50年里研制了许多不同种类的热空气干燥机，待干燥的原料必须放置在打满孔的托盘或传动带上，或者被喷射进槽。托盘要放入柜内或一个通道中，让热气从上部或底下通过，让最热的气体（约为100摄氏度）接触最湿的原料，较冷的气体则接触较干燥的原料。

旋转式干燥法曾在第二次世界大战前及战争中使用过，主要用来干燥牛奶。液体膜层从一个受热的滚筒上经过，几乎立即被干燥，并且随着滚轮的转动被刮掉。不过，牛奶味道会发生一些变化，溶解度也会减退。这种过程经过改变后，还可用于土豆片及快速早餐麦片的制作。

第二次世界大战后，更多不同的干燥系统得以采用。霍尔兹沃思（S. D. Holdsworth）将这些系统分为不同的方式，包括传导加热、强制空气对流、红外线辐射及电磁辐射等其他方式。

用流化床干燥时，原料保持悬空状态，由热气流传送。这种方法可以用于各种小麦制粉的干燥，使之保持一致的含水量，这样就能够提供相对有效的热量和面粉传输，缩短干燥的时间。

在第二次世界大战中，蛋和鲜奶的喷雾干燥法被大量采用。在这种工艺中，液体食物被喷射进一个大型倒圆锥体容器，一滴滴的食物遇到从锥体顶点垂直升起的热空气，快速干燥后以粉状物落下。第二次世界大战期间的问题之一，就是适当地对液体鸡蛋进行高温杀菌。但是，尽管经历了极大的努力，由沙门氏菌而引起的食物中毒依然时有发生。第二个问题是产品的不稳定性，这一点可以通过葡萄糖氧化



图 56.3 一部“奈罗”（Niro）喷雾干燥器，并配有附加的流化床干燥装置。

酶的处理，即除去蛋白中的糖分而得以补救。

喷雾干燥脱脂牛奶很难还原至原状，但美国速溶牛奶公司还是生产出了速溶牛奶，并在 1946 年取得了一项凝聚专利。在这一过程中，喷射干燥的颗粒被重新湿至含 10% 的水分并进行震荡，从而聚在一起，重新组成较大的颗粒。当最后再次干燥到水分含量为 3%—5% 时，颗粒重新组合便相当迅速，制作出来的食品更受人欢迎。包括咖啡、牛奶及面粉，许多食品现在都进行凝聚生产，最终得到流动状的食品。事实上，喷雾干燥法广泛用于咖啡、茶、牛奶、果汁及植物蛋白等食品的生产。在英格兰西部，战后有一家典型的生产植物蛋白的工厂（图 56.3 中可见该厂的部分情况），许多类似的厂家遍及全世界。图 56.3 所示是一家综合性工厂，厂房里的干燥室与一个流化床相连。这便是现代食品生产特征的一个实例，就是将不同的干燥系统结合起来，满足特殊产品的需要。各种食品以脱水的形式出售，并配以各种各样的包装，它们都需要用薄膜或层压塑料袋来防水，而且一般都要在氮气中密封，减少因氧化而产生的变味问题。

1415

这里需要适当提一下食品添加料的使用。喷雾干燥乳化法在生产一系列大众化食品中变得非常有用，例如放在食品上面的配品、调味品等。这些食品常含有植物脂肪、蛋白质及碳水化合物，以及表面活性剂、调味料和稳定剂等，有效期较长。各种成分先进行乳化和均匀混合，然后将水溶性配料喷雾干燥后冷却。当脱水后的混合原料同两倍重量的液体牛奶搅拌后，就可以用来盖在罐装或新鲜水果的色拉上

面。如果搅拌得更稠一些，还可用做蛋糕的填料或装饰料。

由于人们倾向于减少家务劳动（第 47 章），在外就餐的趋势与日俱增，致使脱水食品的消费量大大增加。脱水汤料是脱水食品市场中最重要的增长点之一，早在 20 世纪 40 年代末就在美国出现。除了汤料、咖啡、茶、奶制品之外，在预制盒饭、脱水豌豆、土豆泥粉等其他方面也得到显著发展。土豆泥的制作要求关涉到了 3 项取得进步的技术，其中之一是使用乳化剂。向热水中加入少量与游离淀粉有关的甘油，烹煮过程分 3 步：在 71—82 摄氏度的水中先预煮一下，用水冷却 10 分钟，然后再蒸煮 30 分钟，这样就制成了备受欢迎的速溶土豆泥。

1416

自 20 世纪 30 年代以来，冷冻干燥（冻干法）就为人们所知晓，这是在瑞典最先发展起来的。起初，它被用来干燥热稳定性差的药物及生物材料，例如青霉素、精液等。这里使用了冰不经液化直接升华的特性，天然冰在 0 摄氏度以下就会消失。第一个大型冷冻干燥鱼、肉的工厂，是苏联在 1954 年创建的。

最简单的冷冻干燥机由一个连接真空管和冷凝系统的容器组成。待冷冻材料被置于盘内，盘子放在柜内加热层上，热量由加热层传到盘上或加热层上进行辐射。这一过程并不十分有效，大量能源被浪费掉。高真空装置可以加速干燥过程［这一过程通常被认为是加速冷冻干燥（AFD）］，如果泵水系统能提供足够的能量，在升华过程的高峰时刻可有大量水汽被排出，从而提高干燥效率。假如使用不同的机械设备，例如有棱的盘子等，使受热搁板同待干燥物之间的接触面增加，那么效率也可相应提高。

冷冻干燥食品能较好地还原成原来的形状和味道，香味也几乎不减。如果包装对水蒸气和其他气体进行隔绝的话，冷冻食品的贮藏实际上不受时间的限制。因此，将食品在干燥的惰性气体中进行真空包装或贮存是十分适宜的。有人认为，深冷贮藏高能耗的费用与冷冻食品所产生的额外能耗的费用大致持平，这些费用包括运输和贮存（冷

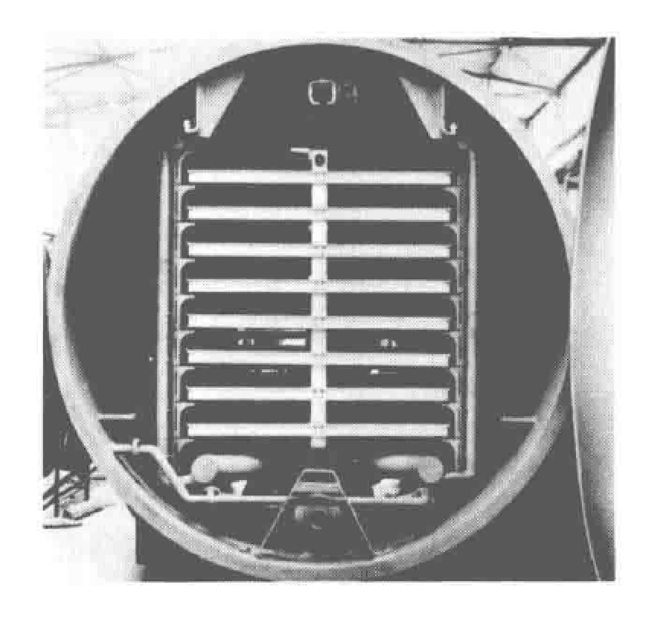


图 56.4　一台冷冻干燥装置，其管筒剖面图中门是开着的。

冻链）、供电不足的风险及防范产生断电风险所采取的必要措施等。图 56.4 显示了一种典型的现代化冷冻干燥设施。冷冻干燥法最适于加工高价食品，例如蘑菇、对虾，并小范围用于豌豆。用这种方法处理的蔬菜，水分的恢复速度比空气干燥的产品要快得多。英国还试图对蛋类使用 AFD 法，但未成功，这证实了冷冻干燥法与整蛋冷冻的技术还有差距。

另外还有一种膨化干燥法，可使脱水后的食品有敞开的多孔结构，并能迅速恢复食品水分。这是一项美国发明的现代化技术。自 1955 年以来，美国产生了许多这方面的专利。蔬菜常常先烘至水分含量达 40%—50%，然后被罩入一个容器内，压力升至 2—4 千克 / 平方厘米。当压力骤减到大气压时，爆发性的膨化就产生了，然后再进一步进行短时间干燥。

1417

若不提及另外一种美国加工工艺——浓缩泡沫脱水法（1960 年美国农业部专利），上面对干燥法或脱水法的简要介绍就是不完整的。这种方法是把大豆蛋白质、蛋类蛋白、单硬脂酸甘油酯及其他脂肪酸酯和糖之类的一些稳定剂加入液体食物中，再用通气或快速搅拌使食品生产具有十分稳定的特性及形状。然后，按常规放在料盘上干燥，经快速脱水后，敞开的多孔结构再次出现。这样，食品会很快恢复水分。这种方法已经用于脱水的浓缩果汁、果泥、蛋、全脂牛奶、马铃薯及婴儿食品。

许多脱水法都得益于美国最近（指 20 世纪 70 年代）的一项研究

成果——反渗法。它通过去除各种食物中的水分，使之浓缩，具体包括全脂牛奶、脱脂牛奶、乳清、奶油、黄油牛奶、全蛋及蛋的各种不同成分，甚至酸奶等。1953年，这种方法首次通过脱去水中的盐分而得以证实。当一种溶剂与溶液由半透膜分隔开时，溶剂穿过薄膜，溶液被稀释，溶液的渗透压应该正好就是阻止溶剂通过的压力。如果所用的压力非常大（500—5000磅/平方英寸，即35—350千克/平方厘米），溶剂就可能从溶液中被迫渗透过膜。用分子过滤装置来浓缩，也会出现类似情况。用于这种反渗装置的半透膜一定要非常坚固，为了提供必要的拉力强度，可以将数层玻璃纤维卷在毛毡或纸制的多孔膜上，用一个轴芯支撑着，使之左右交替旋转。把这套装置置于一个真空容器内，当它运转时，水将穿过装置，然后对加固膜进行处理，使其所含的树脂致密化。这套系统自动化程度极高，已经大量用于食品生产，对奶酪生产中产生的乳清进行浓缩，否则会产生严重的污染问题。

消毒及杀菌 到19世纪70年代，安全高压蒸馏器或高压消毒蒸锅已经用于罐头加工业。在这些容器中，可以借助一定压力的蒸汽或过热水超压加热，防止沸腾（第V卷，边码39）。 1418

罐头加工工艺的要点在于取得时间与温度的最佳组合，使产品达到最佳质量和足够的安全系数，必须杀死食物中固有的致病菌和腐败菌。人们做了许多努力来改进这一工艺，包括改进热传导及适宜的冷却法。冷却水必须从细菌生物学的角度称得上清洁，因为这样一种危险确实存在，即通过微小孔的渗出，会使罐头内食物成分受到污染。1964年流传的阿伯丁伤寒就是一个很好的例证，它就起因于阿根廷大量腌牛肉罐头加工过程中的污染。

罐装食品的顶部通常留有一点空间，填装后将罐头密封，然后传送到高压消毒蒸锅或蒸煮器。使用现代化的加热设备有两个目的，一是借助连续性的蒸煮—冷却器减少操作，二是用短时高温加工法改进

质量。转筒或螺旋式蒸煮器是最早的罐头消毒连续装置之一，它能转动罐头并在一定程度上达到上述目的。在这一过程中，罐头在蒸煮锅内沿着一个螺旋式的导轨移动，由缓慢转动的圆筒四周上的凸缘推动。这样引起了底盖翻滚式转动，混合了罐内食品，提高了热渗透力，也缩短了加工时间。

另一种得到确认的蒸煮—冷却器是液压式杀菌器。其中，用于压力容器同容器相连的转换阀门被蒸汽室内压力支撑的水柱所取代。罐头通过热柱降下，然后通过水封经过第二个水柱，再往后就由空气或水来冷却（图 56.5）。大多数的液压蒸煮 - 冷却器很少或根本没有对罐内食品搅动，有时更适用于有胶冻的罐头食品，尽管冷却过程中粗暴的处理会丧失这种优势。

另外，战后还研制成功了无菌罐头加工法，其中最著名的多尔（Dole）加工法是在美国发明的。为了迅速达到所需的热转换效果，特别是一些黏稠食品，设计连续加热和冷却罐内食品的热交换装置非常必要。这种方法最适于预先调匀的食品，加工之后被冷却装罐，无菌条件下工作的填充器就是为了这个目的。图 56.6 是一家典型的多尔加工厂，另一家是早期的罐头制造厂。过热蒸汽用于罐头消毒杀菌和封盖，加工时间为 30 秒，温度为 140 摄氏度，这是典型的高温短时加工法。

1420

火焰杀菌法是 20 世纪 60 年代才兴起的。如果液态罐头以 120 转 / 分钟的速度沿水平轴方向旋转，热传导将非常迅速，当火焰温度大约为 1400 摄氏度时，罐头表面的温度仅比罐头内的食品温度高出 1 摄氏度。复式穿梭杆把罐头先转向一个方向，当罐头通过热传导部位时，又被反向转动。天然气非常能够胜任这一过程。整个加工时间非常短，而且产品质量好，但在罐头体积及所能生产产品的类型方面有某些局限。不过，能源危机引起人们对这种方法的效益发出责难。

显然，罐头的性质发生了巨大变化。内部产生的腐蚀主要有两种

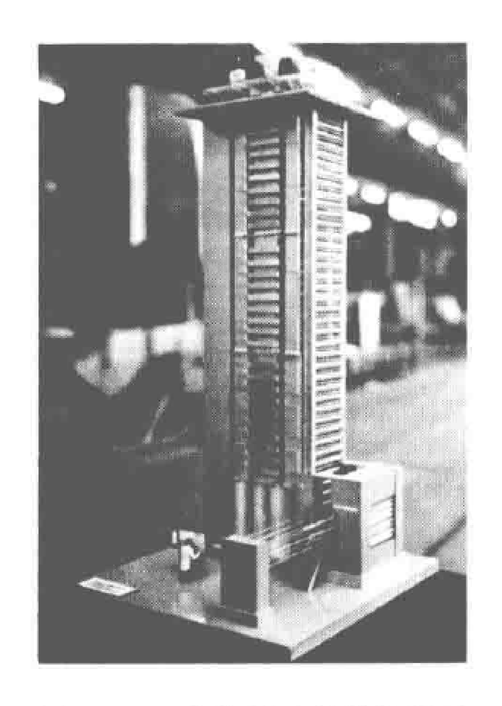


图 56.5　一台液压式杀菌机模型，气压柱的大小同控制台前操作人员的高度相比十分明显。

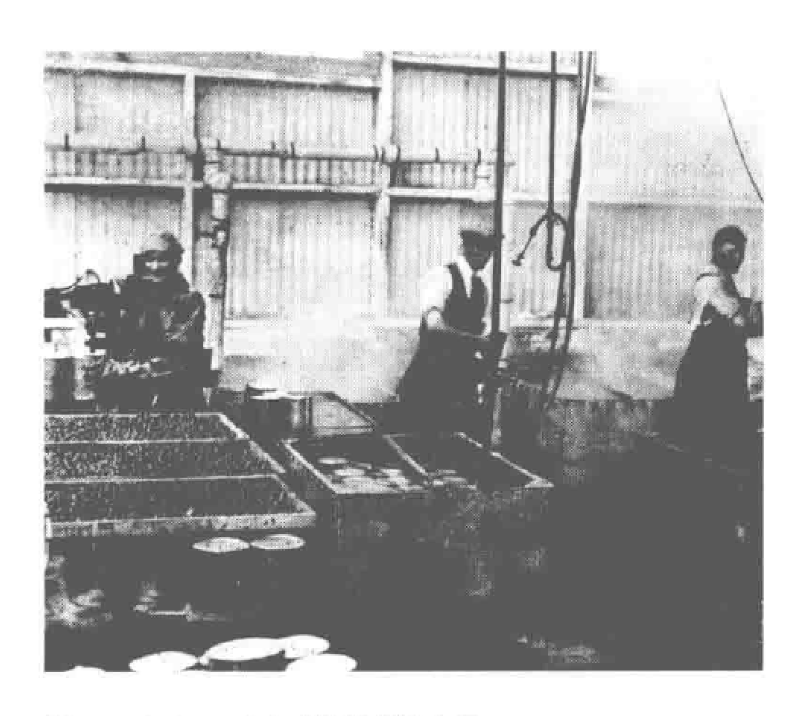


图 56.6（a） 一个老式的蔬菜罐头厂。

图 56.6（b） 多尔无菌加工罐头系统。罐头消毒装置接在左边，填料及密封装置在右边。

形式，它们同金属容器，特别是那些由马口铁所制成的容器有关。第一，酸性物质可以产生电化学腐蚀，第二，含硫食物——例如肉、鱼、某些蔬菜及一些奶制品，可以产生硫化物斑迹。防止这种因受腐蚀而致黑的最好方法，就是在容器内涂上一层涂料膜。

随着电解马口铁的使用，镀锡层越来越薄。为了尽量减少腐蚀影响，涂膜的方法越来越普遍。涂膜薄片的酸腐蚀不同于普通马口铁的酸腐蚀，因为仅仅只有非常小的金属表面（在那些涂料未能浸到的地方）同食品相接触。在罐头制作中因损坏而暴露的铁面积，比因涂膜不完整而暴露的锡面积相对要大得多。在这种情况下，铁一般就成为反应的正极，腐蚀会小面积地产生。有时会出现穿孔现象，但更可能的是产生氢气，形成“胖听”（这种“胖听”也可能因消毒不严，产气微生物得以继续存活）。罐头食品制造厂的质量监测人员必须不间断地寻找这类疵点，幸运的是这类疵点并不经常出现。

第二次世界大战后，铝价下跌，铝皮罐头开始得到认可。铝罐内涂膜几乎总是必需的，这种罐头能够避免硫化物污染，很适于听装蔬菜和听装低酸性水果。铝制易拉罐的使用取得了很大成功，特别适于啤酒及汽水的包装，也适合用于花生之类易受氧化食品的充气包装。

1421

无锡薄板（TFS）得到广泛使用。起保护作用的铬膜或铬 - 氧化铬膜大约只是常用马口铁镀锡层厚度的 1/5，正反面都上了膜。这样就可以避免硫化物污染的危险。给食品罐头两面上漆的方法被列为强脱锡法，使用十分普遍。例如，制作罐装大黄，罐头的罐身用热浸镀锡法制作，盖子则是用无锡薄板做的。啤酒及其他饮料也成功地装入马口铁作罐身，用无锡薄板作顶盖的罐头中。纯锡焊料用于软饮料及罐装婴儿食品，为的是避免在接口处用含铅焊料而引起铅中毒。

正如在阿佩尔时期一样，玻璃制品仍然作为消毒过的食物容器使用。只是瓶盖非常重要，一定要用消费者所能接受的材料。对于保质期长的食品，可以用带橡胶或塑料垫片的马口铁盖或铝盖。单个或多

个瓶盖已经开发成功，而且能够做成撬开、压扭、转开或拉开等各种形式。至于选择何种瓶盖，则应由价格、容器大小、消毒时间长短、食品的性质以及如何投入市场等因素决定。假如食物易氧化，瓶盖处的氧气渗漏问题就最为重要，因为氧化食品的上部会褪色、变质，甚至会因维生素的损失而破坏营养成分。家庭主妇习惯于用瓦罐装食物，同样会面临与食品加工厂商完全相同的问题。

在过去 50 年里，牛奶巴氏灭菌法发生了显著变化。虽然自 1923 年开始，英国有些工艺是采用瓶内灭菌技术，但大多数还是用大批量巴氏灭菌。人们所知晓的“贮罐巴氏灭菌法”，一直保持到 1941 年。这种方法是将牛奶加热至 62.8 摄氏度到 65.6 摄氏度之间，持续至少 30 分钟，然后迅速冷却至 10 摄氏度以下。后来，它被高温短时加热法（HTST）所取代，在英国是用不低于 71.7℃的温度热处理 15 秒钟，然后迅速冷却至 10 摄氏度或 10 摄氏度以下。这种加热灭菌法通常在热交换器中进行，有些热交换器是管状的，但基本上都是盘式热转换面。加热媒介物是水、高压蒸汽或减压蒸汽。生产时，上述操作过程是连续的。近来，人们对这一工艺进行了一些改进，增加了红外加热工序，以达到巴氏灭菌的要求，其中使用了由电热元件环绕的石英管。

1422

牛奶超高温加热杀菌法（UHT）是根据雷丁国立奶制品研究所及英国乳品业的研究工作提出的。这种方法使用的温度是 135 摄氏度—150 摄氏度，持续时间为 2—6 秒。在工艺方面有两个不同的系统，间接加热法是使用管道加热或盘形热交换器，直接加热法则是将蒸汽向牛奶中喷射或反过来将牛奶喷射至蒸汽中。20 世纪 60 年代，这些方法瑞典也开始启用。就热转换而言，第二种系统效率更高，但必须有一个真空蒸发装置，准确地移出加热阶段冷凝下来的蒸汽，恢复牛奶的基本成分。在很长一段时期内，这种方法一直存在着法律上的纠纷，导致它的应用受阻。用超高温加热杀菌法，牛奶可在无菌状况下被放入消毒容器里，并保存相当一段时间。

必须提到的一点是，液态牛奶批发商们日益意识到在牛奶加工前后的运输和贮存期间，各个环节均要保持低温状态。从20世纪50年代开始，世界许多地方都更频繁地使用装有机械制冷、冷冻片、低温气体冷却等设备的运输车辆。在地方性的牛奶投送中，许多车辆在装奶箱堆放好后，车内设备处于工作状态，直到送入绝热或冷藏车库中。

食品的低温冷冻法 人们很早就知道用冰来冷冻食品。大约在1820—1872年期间，天然冰和人工冰的生产在挪威得以迅速发展。1880年，人们开始生产清澈的冰，即冰里不含空气泡，并在现代化的冷藏室和冷冻设备问世之前，一直被广泛运用到易变质食品的运输中。现在，很多运输工具都配有自己的冷藏设备，或使用固态二氧化碳，后者是1925年首先由美国干冰公司开发的。冷冻的目的就是为了降低温度，以减缓食物中的酶反应和化学反应，同时减缓或抑制包括细菌和霉菌在内的微生物生长。这些微生物对于低温的反应差异极大。耐热菌通常在30摄氏度到50—60摄氏度之间特别活跃。适温生物适应温度范围在10—45摄氏度之间，大约35摄氏度时繁殖最快。然而，嗜冷微生物能在冰点下生长，适应温度范围在0摄氏度以下—约30摄氏度，最适温度约为25摄氏度。因此有些微生物能在0摄氏度生长，而英国制造的制冷器或冷藏室（在20世纪20年代中期使用的）温度大约为3摄氏度，其局限性很明显。同样，我们可看到“深度冷冻”的价值，例如说–18摄氏度。就商业而言，食品冰冻贮藏最常采用的温度是–30摄氏度到–40摄氏度之间。食品的实际冷冻可能需要更低的温度，如–60摄氏度，甚至更低，但这不应同食品冷藏混为一谈。

1423

然而，冷冻也有缺点，食品本身的性质也会导致一些问题。大多数食物的成分是很复杂的，在冷冻中对食品结构会造成破坏，这点在解冻时最明显。草莓如果冷冻不当，就会失去其结构特征，采用冰冻干燥法可避免这一情况。肉、家禽和鱼也会失去它们的某些结构特征，而变得容易失去水分，特别是还带有血的话，会变得极不卫生。同样，

蔬菜解冻时也会失去大量的游离水分。有时食品组织中水分流动加剧，会导致酶活性的增强，因此更易受微生物的侵蚀，造成异味，甚至有时加速变质。基于这一原因，蔬菜常在冷冻前用蒸汽或热水漂烫。同罐头制作一样，这是必不可少的步骤。主要是使氢过氧化物酶系失活，并减少绿色蔬菜中叶绿素的损失。

长期以来，人们普遍认为食品冷却至 –2 摄氏度以下会变性。这同冰晶生成所引起的危害有关。慢速冷冻由于生成最大冰晶，极有可能在解冻时对食品产生损害，许多年后人们才意识到这一点。然而，快速冷冻由于其冰晶体积小，潜在的危害小得多。直到 1929 年，急速冷冻的价值才被一位名叫伯宰（Clarence Birdseye）的人充分认识，他随后以自己的名字创办实业。人们发现有些食品，如龙须菜、桃子、青豆和鱼等需要快速冷冻，而有些食物却不必。面包是其中一个有趣的例证。如果将面包慢慢冷冻，然后解冻，会发现它已变质，这是由于淀粉结晶的缘故。但是，如果迅速深冻，这种情况就可避免，解冻后的面包仍同刚出炉时一样松软。烘焙食品非常适用这一方法，即使一星期内每天的产量均衡，满足周末高峰时对这些食品的需求。

冷空气鼓风冷却或隧道式冷冻机都极大地促进了这种速冻法的运用。液氮导致了快速浸液冷冻法的产生。干冰也是很有价值的冷却剂，还有氟利昂 12（二氯二氟甲烷）。金属盘面冷冻器和双层金属盘冷冻器也都使用得很广泛。肉食冷冻中，传统机械的冷藏柜仍然使用得很普遍。刮板式热交换器主要用于那些易流动的食品冷冻过程，如冰淇淋等。当然冷冻方法的选择，需要有高度工艺上的判断力。特别值得一提的是，总的热转换系数是食品的导热性及其包装材料物理性质的一个函数，同时也是由所用设备决定的外部热转换系数的函数。大多数主要食品都对冷冻技术有着不同的要求，如鱼、家禽及肉最能清楚地说明这一点。

1424

整鱼及大鱼块的冷冻，会导致其重量的减轻和不同程度的“冷冻

灼伤”现象。食物组织的暴露会产生氧化作用。严重失水的鱼，其组织变得疏松，质量明显下降。贮藏时温度的变化也有可能造成食品质量的下降。温度小范围的回升，如 -30 摄氏度到 -28 摄氏度足以引起冰的升华，以至干缩。因此，人们总是将冷却面积控制得足够大，力求将食品与冷却器之间的平均温差减少到最低限度。人们发现冷冻食品表层上的冰衣可对食品起到保护作用，因为冰蒸发时，其下的食物组织不受影响，因此不易产生氧化变质。一种比较先进的方法，是将鱼在聚乙烯薄膜或聚乙烯作衬的纸内冷冻。在充满了水的整个空间中，氧是不可能存在的。塑料薄膜也能防止脱水。这种方法特别能使高脂肪类型的鱼贮藏时间延长；人们发现处理过程中对鱼的物理损伤大大减小。

包冰衣的保护作用也减少了包装袋内的干缩现象。然而，人们发现在后续的批发过程中，冷冻食品进入商店、家庭后，脱水现象将很严重，原因在于贮存温度太高，多半高于 –6 摄氏度。为保证食品在整个冷藏过程中各个环节的质量，保持均衡的温度仍十分重要。食品包装材料同样不可忽视。在 –20 摄氏度的温度下，一包 6 盎司的鱼片在聚乙烯为衬的蜡板盒内冷藏 3 个月，仅失去 0.1% 的水分，而只有鱼片失去 0.5%的水分时才呈现出变质的迹象；而冷藏同样的时间，未包装的青豆水分损失可达 16%。

1425

在肉类及家禽类冷冻时，较理想的方法是将屠宰后的禽畜肉体温犹存时不经初始冷冻阶段直接速冻。腺苷三磷酸是肌肉收缩的直接能源，而在僵直的禽畜肉中腺苷三磷酸大量减少。因此，少量保留腺苷三磷酸对防止肌肉的过度收缩是必要的；过快的冷冻是“冷脆”的原因，即食物韧化的原因。最终的能源当然是动物淀粉（糖原），经生化反应变成乳酸，反过来又决定肉质的酸度。这一点对潜在的微生物生长影响极大，对肉类的结构及含水性也有影响。此外，它对肉食冷脆速度的影响也不可忽视。

冷脆后的肌肉很坚韧，甚至水煮也难以变烂。猪肉冷却的速度可

快些，而且不会韧化，因为肌肉受到脂肪的保护。相反，家禽的冷冻不可太快，因为冷脆和韧化会使胸部肌肉的质量受影响。

一般来说，如果贮存温度保持在3摄氏度以上，肉类食品中毒的危险总是存在的。屠宰并除去内脏后的肉若挂得太靠近，可能会保持其体热，从而增加细菌生存及肉食腐败的机会。鲜肉在0摄氏度时的保存期是10摄氏度时保存期的4倍。肉若不经过冷冻，只在–1摄氏度时保存期最长。导致食物中毒的沙门氏菌在鲜肉上能很好地生长，但7摄氏度则是沙门氏菌生长的最低温度。因此，欧洲经济共同体要求肉在运输途中的温度应低于7摄氏度。

前面已谈到鱼类、商店及超市的冷藏柜需要良好的温度控制来保证其最大的保质期限。理想的温度是不高于2摄氏度。如高于2摄氏度，其保存期就仅限于两天。

储藏食品的其他方法　前面已提到了水在保藏食品中所起的作用。如同在传统的果酱制作方法中那样，糖渍可以减少食品中对微生物生长起促进作用的“游离”水分，或者用制作敦提（Dundee）水果蛋糕时降低相对湿度平衡的方法，或者用盐腌等，这些办法都能控制微生物的生长。

干腌法（第Ⅰ卷，第2章）自远古时代就用于肉、鱼的保存，至今此法仍不失其重要意义。将洗干净的鱼剖开、去脏、切去头部，将鱼和盐间隔分层放入桶内。由于水分从鱼中被提取出来，因此形成盐水，最后盐水渗进整个鱼体。在盐水完全渗透后，可将鱼包装起来，或干燥后再包装。

1426

用盐腌肉在巴西是一种传统方法，这种方法是将一块块肉浸在盛有饱和盐水的桶里。肉块排去水后，按照上述的腌鱼方法进行烤干腌制。现在大部分熏咸肉是采用消毒盐水灌注法制成的。屠宰后的肉被浸泡在几乎无细菌的盐水中。

若不对两点非保存方面的作用加以说明，那对腌肉的论述将是不

全面的。其一是改进了味道，另外是增大了溶解度和肌球蛋白的释放，这是一种来自肌纤维的极其重要的球蛋白。

硝酸钾在“腌制”肉方面（如咸牛肉、火腿、舌头等）已使用多年。在此以前很久，人们尚未认识到硝酸钾在抑制肉毒杆菌的生长中起着很大作用，这种细菌能产生极强的毒素。起先，硝酸钾是用来防止变色的。尽管在腌制过程中及食用后胃中所形成的亚硝酸基化合物近来被认为有致癌的危险，但硝酸钠及亚硝酸钠仍被用来腌制肉食品。应用权衡利弊分析法在这里便是一例，人们认为肉毒杆菌的危险要大得多。

醋是另一种传统的防腐剂，它还是一种民族风味的产品。在法国及欧洲许多国家，人们十分喜爱酒醋的芳香和味道；在北美，人们喜爱苹果醋；在英国，麦芽醋十分受宠。在 20 世纪前 50 年内，醋生产工艺不断得到改进。植物培育者们培育出了高淀粉、低氮含量的大麦。用麦芽来酿造醋已有很大改进。人们在一个大桶内，通过糖化作用来完成由淀粉到糖的转化。最后，利用发酵使大部分糖转化成酒，然后通过对酒连续通入空气，充分醋化，产生醋酸含量高的浓醋。

本章的第 1 篇谈到了食品立法中的一些倾向，主要是针对什么物质能加进食品中，包括防腐剂及抗氧化剂的使用。一般允许使用的防腐剂包括下列酸性物质：二氧化硫、丙酸、山梨酸、苯甲酸；硝酸钠及前面已提到过的亚硝酸钠；甲基对羟基苯甲酸盐和丙基对羟基苯甲酸盐；抗生素防腐剂常用四环素及乳酸链球菌素。

1427

二氧化硫——还有亚硫酸钠、亚硫酸氢钠及偏亚硫酸氢钠——在啤酒、葡萄酒、苹果酒、猪肉和牛肉香肠、干菜、脱皮马铃薯、果汁、软饮料、酸菜及调味汁中广泛使用。人们已考虑到 B 族维生素的硫胺素等成分可能会失去，如马铃薯之类的食物，这是因为亚硫酸盐对褪去褐色素效果十分显著。苯甲酸及苯甲酸盐也都被允许添加进许多食物中，它们常常作为二氧化硫的替代物，主要用于果

汁、西红柿酱、酸菜及调味汁中。苯甲酸及苯甲酸盐也都用于准备做果酱的果肉中，也就是说，如果不加这类防腐剂的话，细菌、霉菌及酵母菌就会在食物上或食物内得以生长，食物就会迅速腐败变质。如果不把季节性的水果及蔬菜保存起来，这些传统产品都会因变质而根本不能食用。如葡萄酒生产国在酒中使用的二氧化硫已十分接近日安全摄入量，即日允许摄入量（ADI），此类问题随着欧洲经济共同体的扩大而不断出现。一般是不允许在牛奶及奶制品中加入防腐剂的。在奶酪的销售过程中，其表面可能有霉变，因此允许使用山梨酸以减少由此而引起的腐烂变质。在夏季，面包极易发霉且形成“黏丝”。为了防止这种情况，允许使用丙酸及丙酸盐，但最大限度是3000 p.p.m.。

食品中使用抗生素是为了抑制细菌的生长，这是第二次世界大战后的一项发展。食物中被允许使用的抗生素，如乳酸链球菌素等，不能加入药物中，其使用也受到严格控制，这是为了避免抗生素抗性菌株的生长。在英国，奶酪、浓缩稀奶油或其他任何罐头食品，可含有乳酸链球菌素，因为制作这些产品的各种原料中可能含有乳酸链球菌素。四环素可加在冰中以保持鱼的新鲜度，但其残存量不能超过 5 p.p.m.。在美国，剜去了内脏的家禽，通常被放入盛有 10 p.p.m. 四环素的冰水桶中浸泡 2 小时，然后在 3 摄氏度下贮存。美国法律规定在未经加工的家禽中，四环素的允许残存量为 7 p.p.m.，通常烹调后的禽肉并不含有四环素的残存物。

有些物质本身具有抗氧化作用，如维生素 C（抗坏血酸）及其盐类。在豆油及麦芽油中发现的维生素 E 也有这样的作用。合成抗氧化剂主要是在第二次世界大战后开发出来的，以脂溶性的为主；在防止食用油脂、黄油（仅指在加工过程中）、香精油、维生素油和浓缩油，以及某些乳化剂里的氧化产生和异味作用中，其使用受到一定限制。如果大量食用变质油脂，就会导致腹泻，引起严重的营养不良，

对人们的健康构成威胁。

抗氧化剂的允许用量在大多数国家是有严格限制的，通常使用丙基棓酸盐、辛基棓酸盐或十二烷基棓酸盐、丁基羟基苯甲醚（BHA）、丁基羟基甲苯（BHT）及乙氧基苯醌来处理苹果、梨子时，一般用量不超过 3 p.p.m.。另外，在奶油制造生产中棓酸盐的限量是 80 p.p.m.。食用油脂使用 BHA 和 BHT（或是两者的混合物）来保鲜，其限制量范围为 200 p.p.m.。在香精油中使用上述抗氧化剂，其限制量为 1000 p.p.m.。这种限量还可用于其他食品。对油炸食品上高密度分布的油，抗氧化剂在防止其迅速氧化方面起着重要作用，如脆土豆片和其他风味快餐食品。饲料中的鱼粉，如用秘鲁鲤鱼制作的鱼粉，通常加有 BHT；否则，它往往可自行燃烧起来。

在谈及种种防腐剂问题时，尚需提及辐射杀菌和消毒，否则便是不完整的。尽管在许多国家，包括英国，对此都有严格的法律规定，使辐射的运用大受限制。利用辐射，完全是战后出现的一项新事物，是根据原子能研究计划提出的。像来自放射性元素钴 60 或快速电子发生机的电离辐射，使用适当剂量，可杀死霉菌、细菌和昆虫，还能抑制马铃薯和洋葱头的发芽。

辐射处理时不会发生温度变化。事实上，这是一种冷杀菌法，但大剂量使用有时会导致食品变味，因为食物中的水分可裂解成许多能与食物中的有机质结合的活性游离基。在油脂中，容易产生羰基。大量毒理学研究表明所形成的羰基是无害的。维生素的损坏情况与通常的烹饪所造成的损失并无什么差别。辐射几乎不影响蔬菜的总体营养价值；而且经过辐射处理的蔬菜，其再次水化的时间和烹饪时间都相应缩短了。辐射的应用价值并不限于食物的保鲜，还包括其他一些作用，如可用来推迟香蕉和芒果的成熟期，这一点在运输中有极大的价值。辐射在植物的栽培方面也有很大价值，如阻止胡萝卜的根毛发展，抑制尚未成熟的蘑菇生长等。

56.4 一般食品加工

碾磨及烘焙 在整个20世纪中，许多国家的人民一直以面粉为能量的主要来源。即使在英国，仍然有约1/3的能量摄取主要来自谷物。麦粒含有丰富的B族维生素，其胚芽含有丰富的维生素E和必需的脂肪酸。按干物质计算，根据种植地带的不同，可含有82%左右能提供能量的碳水化合物、8%—16%的蛋白质、约2%—4%的脂肪或磷脂。英国人除了从面粉加工产品中摄取能量外，还从中摄取他们日常所需的1/5左右蛋白质。

小麦的质量和蛋白质的多少，与碾磨和烘焙的特点有着密切关系，但这并不是一成不变的。从营养学角度来看，在蛋白质缺乏的地方，含有高蛋白质的小麦成了最佳的挑选对象。

小麦大体上有硬质和软质之分，这种分类同两种小麦的遗传性有关。育种学家认为，他们已对各种硬质小麦的基因进行了详细研究。在麦粒的成分中，淀粉占了较大比例，麦粒的硬度是指加工中淀粉胚乳被碾碎的难易程度（边码1407）。硬质小麦能磨成质粗如沙的面粉，该面粉容易筛选，因为它有很好的流散性。这种小麦主要产自北美、俄国、阿根廷及澳大利亚的部分地区。通常用这些小麦加工成的粗面粉，有足够的韧性承受面包制作过程中的高强度加工，同时生产出来的面包形状好，口感好，易于保存。这种小麦的蛋白质含量通常都很高。

在欧洲，包括英国，小麦质地较软，且不具有流散性，能碾磨成更精细的面粉。它们比硬质小麦的蛋白质含量要少，用它们加工而成的面粉也同硬质面粉有所不同；软质面粉弹性较差，而延展性较强。这种面粉不太适于做面包，例如法国面包，就不能很好保存，常有粗面包屑产生。另一方面，用英国种植的软质小麦做成的面包味道非常好，而且用这种小麦加工成的面粉非常适合做糕点，特别是饼干。

麦粒的形状，尤其是其沟痕，往往给面粉碾磨机带来许多麻烦。

加工要达到的目的主要有两个：第一，把胚乳从麸皮和胚芽中分离出来，使面粉呈适当颗粒状，且不含麸皮片，同时具有良好的色泽，以利于长期保存；另外相应地还要去除能产生黏性面包屑的 α- 淀粉酶。之所以这样做是因为大部分面粉要制成面包后出售，而且白面包是切成片的。第二，要获取最大的出粉率，即小麦转化为面粉的百分比要尽可能大。白面粉的出粉率通常是 72%，但出粉率的微小变化在经济上是十分重要的。随着机械化面团工艺的发展，欧洲及英国生产的小麦比 1962 年前更多地用于面包的制作。现在英国面包粉可含有大于 50% 的软质小麦，因此英国小麦新品种的潜在出粉率就显得更重要了。当前的品种，如马里斯 · 威哲（Marss Widgeon）及布凯（Bouquet）都比卡珀（Cappelle）（20 世纪 60 年代曾广泛种植）在相同的加工过程中要多出 5% 的面粉。有些品种过去因高产曾很受农民青睐，但由于具有较高的 α- 淀粉酶活性，因而不适合用作面包粉。在这些品种中我们或许要提到马里斯 · 哈茨曼（Maris Huntsman）和马里斯 · 尼姆罗德（Maris Nimrod）号。有时，起初很有前途的品种在若干年后被淘汰了，这是因为制成面粉会发生一些意想不到的相互作用。

以上所谈的就是 20 世纪影响面粉加工业发展复杂因素中的一部分。现代化面粉加工厂的碾磨工艺，把收割、擦削和压碎过程结合起来，利用胚乳、麸皮及胚芽的不同物理性质适当地打碎外壳，在碾磨过程中克服麦壳沟痕所引起的加工困难。

加工时，首先把小麦清理干净，把石头、其他的种子及麦角等杂质去除。使用联合收割机，能直接将比较清洁的小麦送进加工厂。1920 年，美国仅有不到 5% 的小麦是用联合收割机收割的，但 1938 年达到了 50%，然后通过自动化的设备将小麦所含的水分调整到最佳状态。收获后的小麦用不同的钢辊来碾磨。切割辊，顾名思义，就是用切割辊的凹槽或皱折间的部分切碎麦粒；胚乳中的一些淀粉质被挤出后，还很粗糙时就被筛掉，或者在净化器中被气流分开，接着被

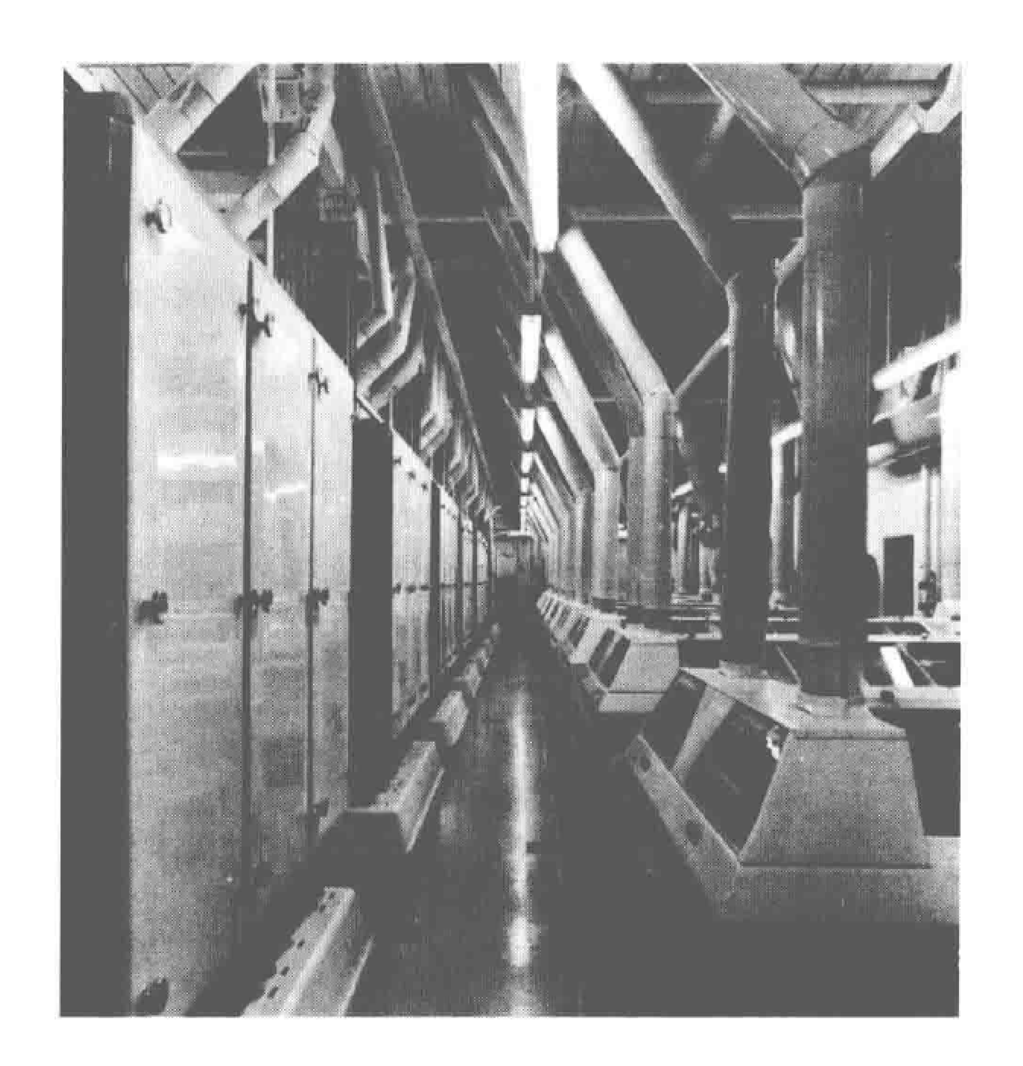


图 56.7　一间现代化的面粉加工厂厂房。平面振动筛在左边，净化筛及钢辊装置在右边。

载到一对具有光滑表面的轧粉辊中进一步碾磨并过筛。从一对对切割辊中出来的原料就这样被送进轧粉辊，出来后又通过另一些切割辊。切割辊还有刮削作用，使麸皮能同胚乳分离开来。轧粉辊能减少产品中粗粉的含量。过筛是通过大小不同的“筛网”来完成的。在现代化的面粉加工厂中，则使用被称为平面筛的成套筛子（图 56.7）。在两种形式的钢辊中，每组间都有速度差。切割辊的速度大些，用于剖割；轧粉辊用来增强碾磨能力。加工厂可采用不同流程生产各种类型的面粉。整个加工过程是在充气的条件下进行的。强气流卷走了最后留下的“尘埃”，而面粉则被送进密封仓内贮存，或者被装进集装箱由车船运给用户或存入粮仓，后者是更通常的做法。如果运输少量面粉，则用纸袋包装（容量为 140 磅）取代了传统的粗布袋。

20 世纪面粉加工经历了 3 个主要变化。第一，单位容量的碾压

表面减少了，从每袋（280 磅）面粉大约 120 英寸减至 30 英寸或更少，增大淀粉损失，影响面粉的保水能力，这有利于满足大众对软面包的需求。第二，在机器内引进了“片状破碎”装置。这原来是为杀死昆虫而设计的，叫作除虫卵机。由于有了较高的滚动速度，为减少表面加工时间创造了条件。快速测定小麦的蛋白质及 α- 淀粉酶含量，也改进了粗面的控制。还有计算机的应用，使各种特殊用途的面粉都能生产。第三，不同淀粉和蛋白质含量的面粉，可由空气分离机来分离。在一般的加工厂里，可用到的最精细的绸布筛孔内径为 61 微米，要想分离出比这更小的颗粒则不可能。然而，若将面粉再置入擀面杖式研磨机或冲击式研磨机中继续碾磨，其颗粒会继续减小，可减到几微米至 61 微米之间。这些极其细微的颗粒——如同我们在前面风动磨的旋风吸尘器中所提到的那样——有着比大颗粒更高的蛋白质含量。这些非常细的颗粒的分离，可由不同速度的气流通过面粉来完成。例如，气流速度为 0.9 英尺 / 分（0.27 米 / 分），就能吹起 10 微米的颗粒；但要吹起 30 微米的颗粒，气流速度就必须达到 7.6 英尺 / 分（3.96 米 / 分）以上。这样的系统容量太小，不适于批量面粉的生产；但如果增大引力，那还是可以利用高速气流的。空气分级法的基本原理，就是让小颗粒承受两个反向力：一个为离心力，与颗粒直径的立方成比例；另一个是气流曳引力，与颗粒直径的平方成比例。一般来说总有一个平衡点，该点上方离心力比气流曳引力大些，反之则小些。在具有螺旋式气流的分级室内，粗粉在四周积累起来，细粉则同气流一起从中心出口排出。图 56.8 所示就是这样的分级机，这是一台“组合式”分级机。在该微型复合分级机的左边，气流可通过调整叶片来控制；右边可见产生离心作用的转动部分。作为这种分级的例证，大小为 22 微米的分离孔能产生出 70% 的粗粉（其中蛋白质含量为 9.1%）和 30% 的精粉（蛋白质含量为 10.5%）。

还有一些其他形式的分级系统，不同国家的使用情况也不相同。

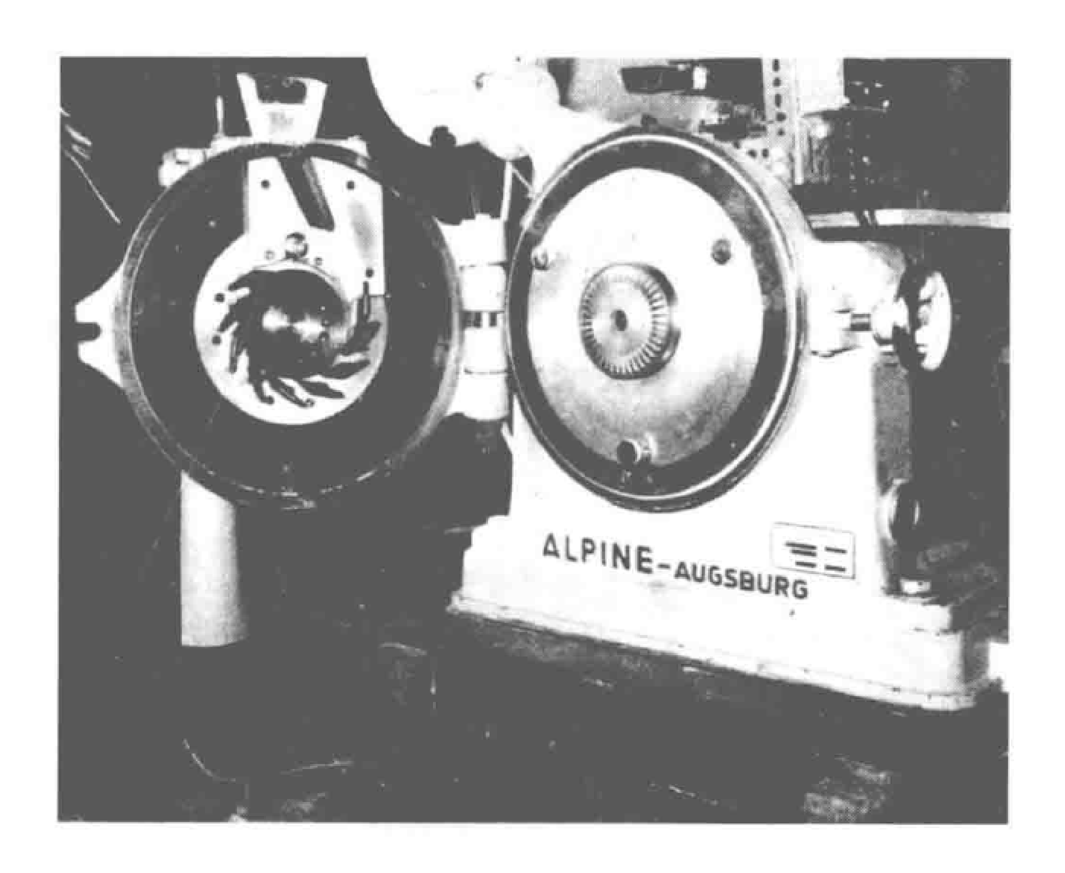


图 56.8 爱尔品（Alpine）“组合式”分级机。

在英国，流散状的粗面粉已在自发面粉市场上供应。法国小麦大部分筋力较弱，因此在生产筋力较弱的饼干面粉的同时，此加工方法又可生产出蛋白质含量更高的面包面粉，在澳大利亚的西部地区等地也是如此。美国的小麦韧性较强，主要生产低蛋白质含量的糕点面粉。

面粉改良剂 面粉贮藏后会逐渐陈化；也就是说，由于氧化作用，面粉的性质自然会有所改善，因为氧化加深了面粉的颜色，使之具有更适合制作面包的某些性质。19 世纪，在面粉从北美向英国运输的途中，就发生了这种陈化现象。当英国出现了面粉加工业后，为了同进口面粉竞争，人们使用了人造改良剂。如今，由于贮存期限的缩短（同时也降低了虫害传染的危险），集装箱运输又被广泛使用，北美和英国也都大量采用改良剂。在欧洲，面包制造业至今没有高度机械化，因而改良剂的使用受到很大限制。

面粉中使用改良剂的另一优点是，可消除各种不同小麦质量上不

可避免的自然差异（包括同种小麦在不同环境中产生的差异）。这样，使用时面粉就具有更统一的性能。因此，面粉加工厂商和面包制作厂商，可在面粉加工的最后阶段或面团制作中使用改良剂。英国规定允许使用的有抗坏血酸（维生素 C）、偶氮甲酰胺、L- 半胱氨酸（一种天然氨基酸）、溴酸钾，还有气态的改良剂——二氧化氯（用于面包制粉）、氯气（用于糕点制粉），以及二氧化硫（用于饼干制粉，或往生面团中加入偏亚硫酸氢钠）。在面包和饼干的制作中，这些改良剂改进了生面团的调制，在机械化的面包加工厂中具有十分重要的意义。

1434

有些国家制作面包仍用 20 世纪初就流行的传统方法，即大块面团发酵法。将面粉、酵素、盐和水拌和（有时掺进脂肪、脱脂奶粉及糖）制成面团，发酵 2 小时后揉面，然后放于一大钵内再发酵一小时。根据面粉的吸水量，560 磅面粉需加 30—32 加仑的水。可将发酵后的面团切成重量相宜的小块，稍微“醒”一会儿或静置一会儿，然后定形（这也会影响面包屑的结构）。再将这一块块面团放于烤模内，醒发约一小时，然后在 230 摄氏度左右烘焙 30 分钟。不同国家的人食用面包的口味也不相同。法国人不大喜爱模烤面包，他们喜欢白面包，形状为长块或棒状，配方油脂低。在美国，模烤面包家喻户晓，配方较为油腻，通常分别含有 6%—8% 的奶粉、脂肪及糖（相对于面粉的重量而言）。

美国使用了制面团的机械设备，使面包的生产适合于连续作业（边码 1408）。在美国，杜式制作机（Do-maker）及阿姆弗劳式（Amflow）设备广泛得以使用。这种面团制作法最初是 1954 年在美国由贝克（J. C. Baker）公司采用的，这种方法取代了 3 小时的发酵阶段，也省去了由发酵带来的一系列诸如所需空间及操作等问题。乔利伍德（Chorleywood）面包制作法，即英国现在大量生产面包的方法，就是将美国式的连续生产用于分批配料的调制中去。人们已设计出了特制的搅拌器（图 56.9），其输入功率为 5 瓦小时 / 磅，操作时间为

图 56.9 一座“特威迪”（Tweedy）高速面团搅拌机。所显示的搅拌装置处于倾倒状态，一台升降机用于面团的倒出，自动化的供面、供水系统在搅拌器上方。

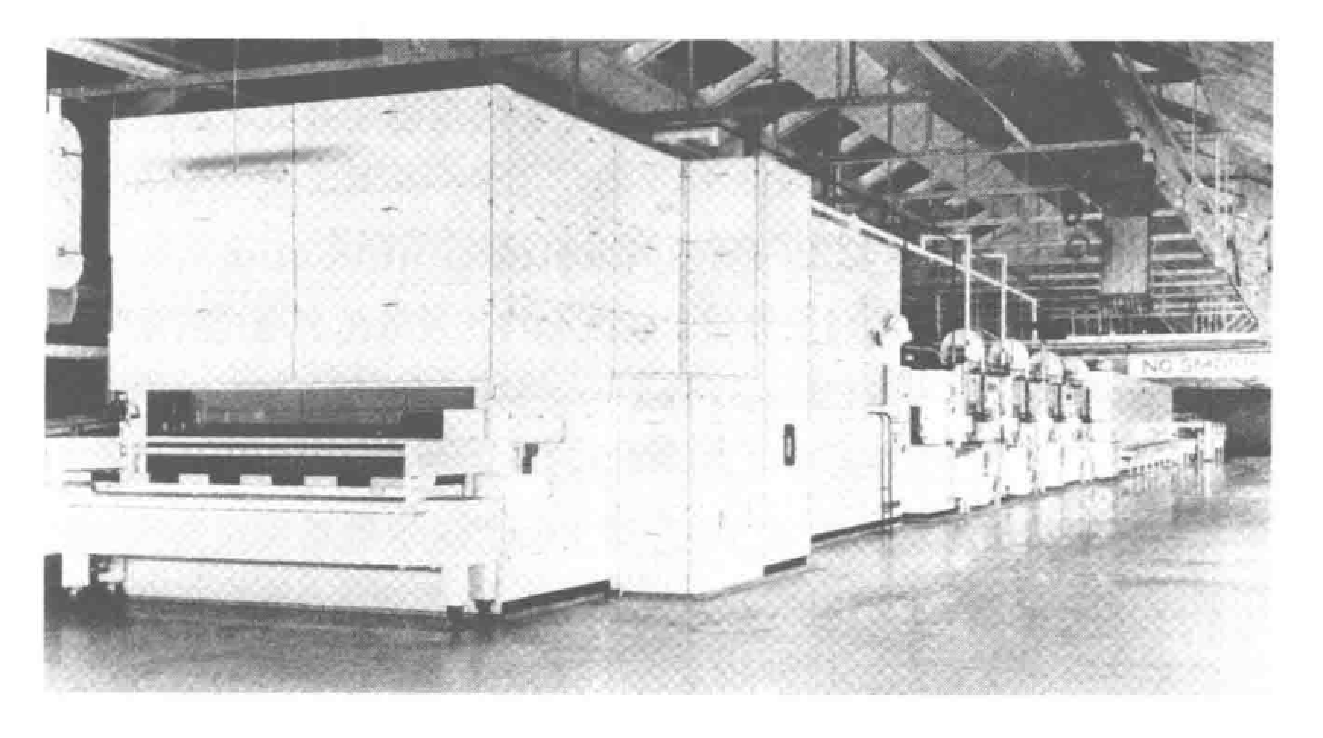


图 56.10 一座典型的面包烤炉。图中可见现代化生产的良好卫生条件。

2—4分钟。这种方法的优越性在于可使用筋力较弱的面粉，这对英国经济有着重大的意义，大大减少了筋力强的小麦的进口量。其营养价值同用传统方法配制生产的面包也差不多，同时还具有以下优点：(1) 加工时间节省了60%；(2) 面团工场所需空间节省了75%，每次面团生产量节约了75%；(3) 由于面团及水的保留而使产量增加。对于小规模面包制造商来说，面团催化中使用的是传统设备；但如果用L-半胱氨酸盐作改良剂，就可能同大厂商一样，取得节省成本及技术上的优势。

面团制作中的分批生产法可源源不断地提供面团。在大型面包制作厂内，模烤面包可在煤气或燃油炉上连续烘焙，其受热可直接或间接进行。从图56.10中可见到一座典型的现代化烤炉。面包从马口铁制烤模中自动脱出，冷却到一定温度，直到能被切成块而不破碎，最后包装好后，等待分发。

1436

在英国，虽然制作点心揉面时除了用于香肠生产的黏结面片之外仍保留着分批配料的方法，但制作饼干的过程还是采用流水作业。不管是使用软质面粉还是由偏亚硫酸氢钠所软化的面粉，面团搅拌后被弄成薄片状不断送进钢辊以压制出所需的厚度，然后压制成形、切断，接着被送进一个长形烤炉，根据所制点心的类别用高低不等的温度烘焙。

在20世纪，糕点加工已实现高度机械化，图56.11显示了一座典型的现代化工厂。画面上原料自动配合与持续输出是通过挤压一条带状蛋糕糊完成的，该带状物不停地通过烤炉。此加工法还能自动加入酱填料及巧克力涂层。

各种油类和脂肪的使用　一直到20世纪初，能供面包制作者使用的只有黄油、猪油、牛油及液态植物油。伴随着催化加氢硬化油这一技术的出现及精炼油技术的发展（1899年的萨巴蒂埃-桑德勒斯反应），食品制作商能使用许多海生动物（特别是鲸）油及各种植物油，

1437

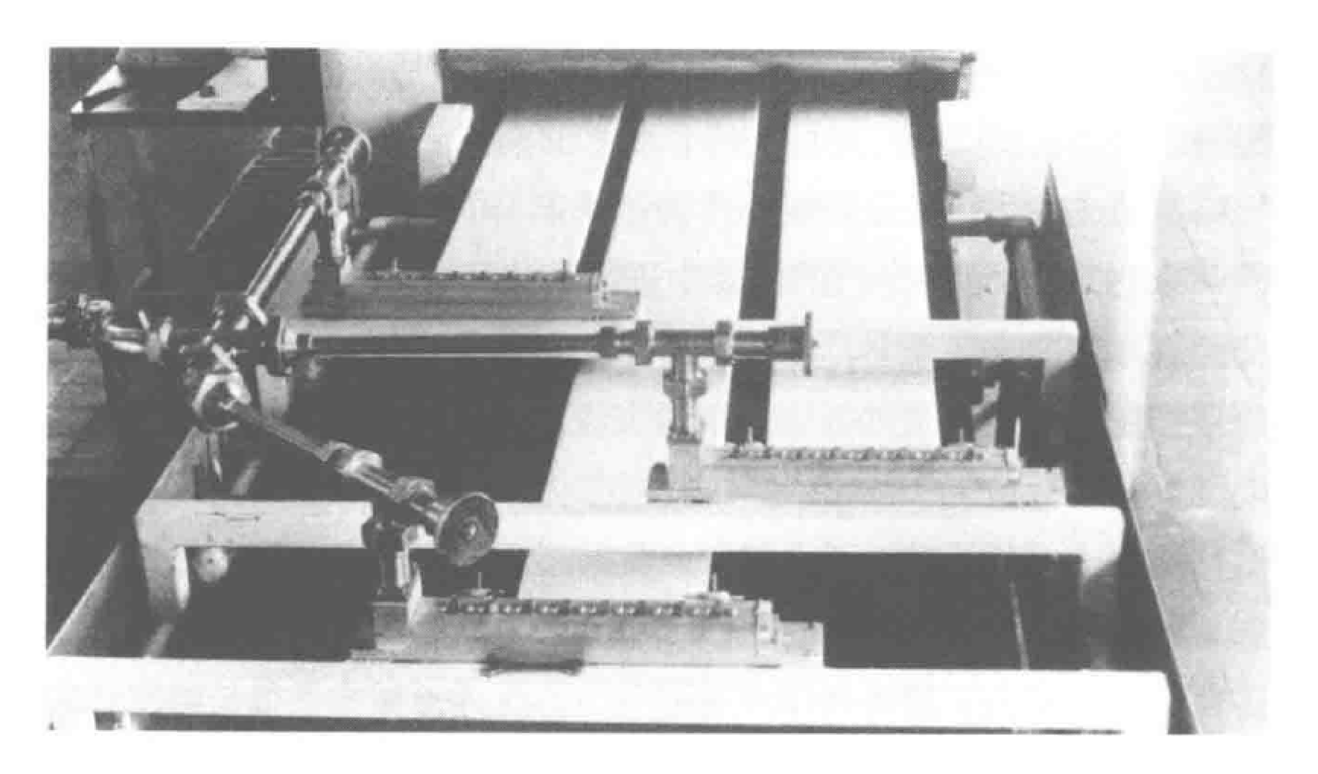


图 56.11　瑞士式面包卷的生产。搅拌装置的控制器在图的正前方，三条松软蛋糕糊带正被送进烤炉。

生产出具有不同熔点、不同质地及良好涂脂力的调和油。对于油炸鱼类食品来说，已出现了在油炸过程中不会起泡的油，而且由于油哈喇变味的情况已较好地得到控制，这更有助于抗氧化剂的使用。人们意识到油的晶粒大小对油酥性的重要作用（面包制作者是这样称谓的）。一般来说，晶粒小的油更好一些。例如，油脂（甘油三酯）能形成不同大小的晶体。α- 形的结晶体最小，在快速冷却时形成；然而，这种结晶状很快会转变为较粗的 β- 形结晶体，不利于制作酥脆的面包。水合的 α- 形晶体的不稳定性可通过添加乳化的甘油一酯来加以克服。这种方法有较大的价值。例如，对于保存蛋糕的松软性就有很大作用。因为当 α- 形晶体转变为 β- 形异构体时，蛋糕的体积大大缩小。

自从 19 世纪 80 年代人造黄油问世以来，人造黄油的生产已得到极大的发展。这要求精细加工原油和油脂，使其无色、无味、无嗅。一些用油菜籽、棉籽、豆子、棕榈核及花生作为原料提炼的油猛增，而鲸油的使用却下降了。所炼制的油是由镍粉催化加氢处理的，以达到所需的饱和度（或硬度）。这实际上影响着产品的熔点。另外，熔

点还受另一化学过程的控制，即酯化过程。然后几种油被混合起来，配制成熔点、黏度和稳定性均符合要求的油脂。接着添加用不同微生物培养而成的脱脂或全脂牛奶作为调味剂（联乙酰也是人造黄油的一种调味剂），然后在专门的机器中进行乳化，这种机器叫作螺旋式热交换器。在这一过程中，进行冷却，发生晶化，根据生产何种人造黄油来控制结晶体的大小。最后，添加了维生素 A 及维生素 D 的产品，就可直接进行包装、装箱了。一些国家仍严禁使用着色剂，因此同天然黄油相比，其外观就不太相像。英国还无这类禁令。

巧克力、糖果及果脯的制作 巧克力、糖果及果脯制造业，都很讲究制作工艺。从分量制作到连续生产的改进，耗费了很长时间。实现这一改变是比较困难的，因为巧克力和糖果两个行业中的工人往往是接受生产某一特定糖果的培训。20 世纪 20 年代英国引进奶油巧克力块的发展，就清楚地说明了这个问题。这一方法首先要求消毒，并将液状牛奶浓缩，然后加糖，最后在真空条件下进一步浓缩，使之成为 90% 的固体物。这时，糖的晶胚已形成，加入可可汁后进行整体搅拌，以促进晶体的生成。接着，糊状物在真空状况下在一大型烘炉内进行干燥。这种炉内备有搁板，通过蒸汽和热水加热。整个过程需要大量的处理，而且是劳动密集型的工作。目前工业上已在使用带式、鼓式及流动塔式干燥器。这些干燥器都是专门设计的，因为研究表明，许多香味都是在批量制作的真空炉内形成的。若没有这样的设计特点，则生产出来的巧克力香味不足。

1438

生产巧克力的原料是可可豆。就像对其他食品一样，为创造一种稳定的产品，农艺专家做了许多工作。20 世纪初，“克里奥罗”（criollo）可可种植很普遍，但逐渐被耐寒、强壮的高产品种“佛瑞斯梯罗”（forastero）所取代。全世界可可产量在 20 世纪第一个 25 年里增长了 3 倍，从 1900 年的 15 万吨上升到 1926 年的 48 万多吨。像谷类一样，可可豆也需要净化，这一净化过程可在集振

动、过筛及空气扬散等功能于一体的机器中进行。烘烤起初在140摄氏度左右的烤炉中进行，现采用热风炉，小心控制温度。风选，即除壳过程，可先将可可豆压碎，然后将壳与颗粒分离（颗粒中含有略高于50%的可可油）；或用吸气装置，将壳沿着一排筛子上方的排出口排出。将可可肉粒碾磨成浆汁，是在擀面杖形粉磨机或垂直球磨机中进行的。接着，糊状巧克力就通过滚筒，滚筒的压力是用液压原理来控制的。该糊状物可以是糖末及可可末溶液的混合物，也可以是部分碾磨过的可可肉粒同糖末的混合物。“巧克力精炼”是这样一种方法：装在一罐内的巧克力浆液承受前后移动的重滚筒的作用，其目的是为了进一步稀释混合物，减小在精炼糊状物中颗粒的尺寸，排除水和不必要的挥发性物质。近年来人们已倾向于淘汰这种噪声极大的批量制作法，代之以另一种方法，即将热气吹到被碾磨的巧克力的薄层上。这样取得的效果与“巧克力精炼法”相同。巧克力润滑的口感是上述各生产工艺程序的综合结果。

巧克力和巧克力饼干的制作有一个“涂糖衣”的工艺过程，在此过程中馅心或饼干连续通过由巧克力形成的屏障，然后进行冷却；或者通过在金属模内沉积液浆，制成空心巧克力壳，然后将其倒置，排出其中过量的液态巧克力，接着将馅料填入壳内，用液态巧克力封口并冷却，这样就制成了巧克力。用于“涂糖衣”的巧克力首先要调和。这包括将其冷却至30摄氏度左右，使液态巧克力明显变稠；当可可油的晶体小颗粒布满时，再加温至35摄氏度。若不进行这道工序，最终产品（制成品）就不会有较好的色泽，其外表会因可可油析出、结晶而“起霜”，甚至发白。

跟巧克力加工一样，糖果业中机械化程度的进展很快。不过这种进展也得益于选用较好的、多种多样的原料。专用脂肪对糖果制造商犹如对面包师、制巧克力师傅一样重要。在胶凝剂和发泡剂中，明胶、琼脂、果胶及改良淀粉在不同产品的生产中发挥作用。

透明硬糖是将白糖糖浆同葡萄糖浆一起熬煮到固态成分占97%以上制成的。现代化的真空蒸煮工艺，能生产出含量为99%的固态成分。就本质而言，这是高度黏稠的非结晶体，能在冷却过程中保持相当长时间的可塑性。这样，就能将调味剂和颜料都拌在里面，然后将它压模成型。用水果糊、软性甜食或牛奶、糖和果汁之混合填料作夹心的过程，可在此阶段完成，其过程是在旋转冷却台上采用机械化方法进行。

牛奶糖和太妃糖含有充分熬煮的混合物，包括蔗糖、葡萄糖、牛奶及脂肪等成分。其味道来自非酶性褐变，这是牛奶蛋白质与还原糖的反应。这一变化过程取决于时间和温度。为了达到这一目的，一般是采用连续蒸煮法。这一方法通常要用到一个带套的槽，通过高压气流加热，还要用一螺旋输送搅拌器，运载食物通过热气槽。一些新式建筑材料的应用对制作的帮助极大。例如，将可移动的硅橡胶模装在机器内，加热至沸腾的牛奶糖液就可在模内发生沉淀。这种机器是第二次世界大战后出现的。糖液冷却后，由模具内排出，直接通过一对圆辊就完成了加工过程。

至于果脯的生产，园艺家及植物栽培站做了大量工作，以培育出抗疾病、产量高和味道鲜美的水果品种。这些品种能适应日益完善的加工技术要求。由于操作方法已在巧克力及糖果生产的某些细节中作了介绍，这里就只对果酱及果脯生产的若干质量控制问题进行一些说明。质量控制在食品加工的任何方面都具有越来越重要的意义。19世纪末，铜曾因具有很高的热传导力而被用来快速加热。如用铜制锅具来进行果酱加工，铜实际上成了一种有害的污染物。由于铜的导热性好，所以镀银的铜锅现今仍在使用。然而，不锈钢制品目前越来越普遍，不论是将其用于真空煮锅还是特制的敞口锅，蒸煮食品都非常快。

1440

英国法律及后来的欧洲共同体法律，都对果酱中的水果成分制定

了标准。两者的要求是不同的，欧洲共同体一些国家所定标准中水果含量要低些。如果不使用防腐剂，就会产生微生物腐败作用这一难题。这时，糖就是唯一剩下的防腐剂了。这就是欧洲及美国生产的果酱为什么比英国生产的果酱要甜一些的原因。果酱制造者往往所寻求的不仅是质量上乘的水果，还要能满足其加工条件的特殊品种。因而20世纪50年代以来，用草莓变异品种“布朗达”(Brenda)制作果酱就产生了问题。这与草莓中糖的渗透性有关，因为这一变异品种难以碎化，致使草莓在果酱中浮动，从而降低了其表面的可溶性固态物。草莓的另一变异品种“剑桥之爱”(Cambridge Favourite)却刚刚相反，有着极易碎化的特性。水果生产是有季节性的，而果酱生产却是长年的，因此必须避免冷藏中的果品损坏问题。有些水果用亚硫酸盐处理后会完全烂掉，尤其是草莓，这是因为有些霉菌可以在酸性条件下生存。酸度、果胶含量及其化学组成物的产生，有助于果酱中胶体的形成。这是很重要的，而且对于果酱凝结的速度也起着极大的作用。一般来说，其pH的适宜范围是在3.0—3.5，加入少量果酸有利于加速果酱凝结的速度。将碳酸氢钠加入煮沸物中，会降低其酸度和凝结的速度。果酱的凝结还受其中可溶性固态物的影响。另外，将果酱装入瓶中或罐中时的温度，也会对果酱产生影响。

机器填装的采用引起了一系列新问题。尤其是自20世纪60年代以来，消费者对于提高标准的要求集中在避免质量波动上。一个问题是针对可能出现的气泡，但在生产中要等气泡消散是需要时间的。另一方面，如果凝结时间太长，水果在产品中就无法均匀分布。

机器填装的灼热果酱一经封口，就要进行冷却，通常在传动带上用凉水喷洒进行。凉水往往对着瓶盖，而非瓶身，这样其上部的压力骤减，就会产生一个问题：如果填充时温度很高，减压时果酱就会沸腾，重新产生气泡，影响凝结过程。如果把果酱填入罐头内而不是瓶内，还会出现质量控制上的种种问题，许多问题就不易发现。因此，

更加严格地控制质量是非常必要的。

成型食品、快餐及新颖蛋白质 便宜的肉片是良好而又经济的蛋白质来源，但往往因为肉太粗或太肥，筋骨多，而不尽如人意。人们采用了许多方法。特别是1960年以来，花样不断翻新。经过剔骨、去皮、拔毛后的肉，重新定型。有一种冷却加工的方法，即先把冻肉切成薄片，让其在一模内承受液压；冻肉片开始化冻，直到在撤压后肉片还能黏附在一起为止。

另一种制作复合食品的方法是：通过加热，使肉片的蛋白质凝固，从而将肉片黏结在一起。其过程包括先用含有盐水及三聚磷酸钠的溶液处理肉片，然后将处理的小块肉片压进模内再加热。美国加工方法中最有趣的一种（美国1961年第3163541号专利）就是将碎生肉和甲基纤维素的混合物用模具挤压成丝状，然后涂上骨胶质（同天然肌肉纤维一样），由此得到的便是一根根粗细相同的肉条。这些肉条可在一定的压力下粘连起来，然后再切成块或片。

挤压法不但适于制作多种小吃快餐食品，也可用于大豆蛋白人造肉食品的制作。挤压设备种类繁多，图56.12就是一台温格（Wenger）挤压机。

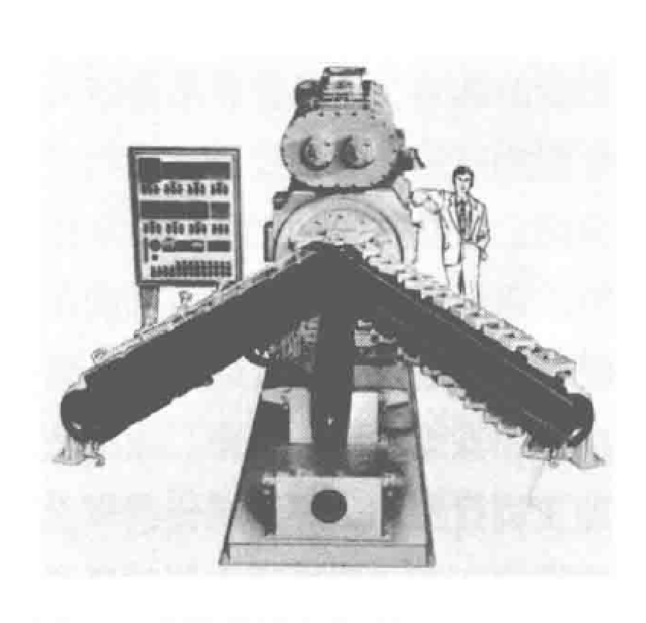


图56.12 温格挤压机是典型的挤压、蒸煮设备，其配置的挤压流水线是敞开式的。本剖面图显示了所用蒸汽加热夹层的大小及形式，以及挤压机设计。将食品从挤压机进入槽模的食品先成型，然后被旋转刀切成特定大小。

大豆浓缩蛋白和分离蛋白已广泛用于各种食品，如灌肠、牛肉饼和肉糕中。自古以来，大豆在中国和日本一直是主要的农作物。但20世纪的美国大豆占据重要地位，其大豆种植面积1917年仅为50万英亩，1939年就增加到800万英亩。大豆组织的蛋白质含量约为52%。用稀

释的乙醇或酸洗脱掉可溶性的碳水化合物和盐，可制取蛋白质浓度更高的浓缩蛋白，其含量高达 70%—73%。用石灰水或氢氧化钠萃取脱脂大豆粉可得到蛋白质含量高达 95% 的分离蛋白。大豆中的大部分蛋白质溶解于碱性溶液，不溶性物质可分离出来，随后可加酸淀析，再经沥干、洗涤和喷雾干燥，就可得到大豆分离蛋白。以前是将这种蛋白质产品制成纤维状，再加工制成人造肉。然而到了 20 世纪 70 年代，人们证实这种方法在经济上很不合算，因为同挤压法相比，这种方法技术含量太高。现在用挤压法制成的豆制品与腊肉相似，分成小块、小片当作快餐食品销售；同时，也可制成豆制牛肉、豆制鸡和豆制火腿。这些食品添有开胃的红辣椒粉等佐料。大豆分离蛋白还可制成各种成形肉制品。

1442

这里必须谈谈单细胞及其他形式的蛋白质的生产，因为自第二次世界大战以来，对由酵母菌、霉菌及细菌生产蛋白质的研究已进展得十分迅速。大战期间英国及特立尼达（Trinidad）花了大量金钱和时间，也未研制出一种供人类消费使用的酵母蛋白。他们的做法是以糖蜜作培养基，其基本原料是产朊假丝酵母（圆酵母）。运用酵母菌产生蛋白质来饲养各种牲畜和家禽，有着巨大的潜力，因为酵母菌可以靠某些石油和天然气的简单产物进行培养，包括碳氢化合物和甲醇等。不过，对这类新近研究所取得的进展，这里只能一笔带过。因为不管是哪种研究，其主要方向是解决动物的饲料问题，而不是直接研制供人类食用的食物。

在西南亚及非洲，单细胞和多细胞的藻类在食品中的应用十分有限。当然，单细胞藻类是更好的蛋白质资源。人们研究过绿色藻类，但更有前途的是丝状藻类。例如螺旋藻属，其天然蛋白质含量高达 62%，但蛋氨酸 - 胱氨酸的含量却相当低。虽然这种藻类存在着颜色问题，而且还有苦涩味，但产自墨西哥的藻类用于动物喂养可望获得成功；据报道，苏联和捷克斯洛伐克正在应用这类产品。

1443

56.5 食品工艺及消费者

在20世纪，尤其是第二次世界大战刚结束后的那几年，食品工业的蓬勃发展产生了一个问题。虽然这个问题本身与技术无关，但同食品工业的发展史却有着很直接的联系，因此不可忽视。纵观整个历史，食品加工业一直在同一定程度的偏见势力进行斗争。这种偏见认为食品工业产品——虽未明确指出在哪些方面——不如“天然”食物那么“卫生”，甚至可能对健康有害。这里我们担心的不仅仅是质量问题：很明显，要是肉、鱼、蔬菜本来就不新鲜，或者质量低劣，我们是无法采取有效加工而使其化腐为鲜的。如果认为早期生产的人造黄油同天然黄油一样可口，那是荒谬可笑的。现在有争议的问题是：加工食品本身抵不上天然食品。

家庭主妇们知道，她们的生活已发生了彻底变化。所谓的“方便食品”给她们带来了更多的闲暇，她们可以和全家人更多地到外面去吃饭；但对一些食品是否对健康有益仍持怀疑态度。家庭主妇们所忧虑的是农民们使用化肥、杀虫剂、除草剂、激素、非药用抗生素以及作为动物和家禽饲养中的生长激素等，担心残留物可能污染食物。自从20世纪20年代开始广泛使用化学肥料以来，许多人并不认为化肥能更好地取代粪肥和堆肥。家庭主妇认为农业上的精耕细作，使烤鸡和牛肉失去了味道。幼畜不如老畜那样有味，是由于两者肌肉中的蛋白质和脂肪的化学组成不同，然而家庭主妇们是无法接受这种解释的。在英国及法国，家庭主妇们喜欢选择深褐色的鸡蛋，认为其味道较好、营养价值较高；而美国的家庭主妇们，特别是北部各州的家庭生妇，却认为白鸡蛋意味着清洁、干净而不愿要褐色鸡蛋。不管有无道理，人们还是心存疑虑。对此，食品加工专家们应给予充分关注。

如果告诉人们，工业革命在西方世界创造了人口众多的大城市，而这些人口只能靠技术高度发展的农业和食品制造业才能养活；许多农作物和园艺栽培作物是季节性的，而食品生产又必须是连续的；食

品生产及分发过程涉及许多保鲜贮存的形式，除非能让他们相信这些食物同他们祖先吃过的食物一样安全、有益健康，否则是起不了多大作用的。战后的消费者从未体验过 19 世纪末 20 世纪初那种不卫生的生活环境。例如，他们并不记得，在牛奶消毒技术还未广泛使用以及奶牛还基本上未摆脱结核菌感染之前，患结核病的危险一直使人们惶恐不安，特别是有小孩的母亲常常提心吊胆。

现在人们所听说的是，精制食品常使西方人患上许多古人没有生过的疾病。人们被告诫，应减少食物中饱和脂肪的用量，多以玉米油这种不饱和脂肪代替猪油和奶油。白面包仍然常会招来人们的责难。第二次世界大战后对德国的儿童曾进行过认真的试验：把受试对象分为两组，一组儿童食用全麦面包，从中获取所需能量的 75%；另一组吃白面包，从中摄取所需能量的 75%。两组儿童同样长得很好。相反，众所周知，在伊朗和埃及农村食用的全麦面包是用未经发酵的面粉直接烤制的，这样肌醇六磷酸不至于损失，但这绝非理想的食品。过多地摄入肌醇六磷酸据说引起了村民缺锌、缺铁；同时这也清楚地表明，如果提倡食用全麦面包来防止和治疗各种疾病，是多么不明智。当然，它可以预防某种疾病，但也可能加剧其他一些疾病。

很多人纷纷转向保健食品，理由虽荒谬，但还是可以理解的。在英国，保健食品的销售额从 1965 年的 1100 万英镑上升到 1970 年的 1800 万英镑。而在美国，同期销售额估计达 2 亿美元。为了正确看待这一数字，我们必须注意到美国食品工业销售额已达 1250 亿美元，保健食品只占食品市场销售额的 0.16%。但无论怎样，由于现在人们对人造食品的安全性仍疑虑重重，保健食品的销售还是有所增加；同时，人们仍旧相信，在施混合肥料的土壤中自然生长起来的食物，以及不含有添加剂的食物都是很“纯”的，有益于健康。但实际上，已知有些最有害的毒物可能就存在于天然食物中，而这点往往被忽视了。

食品在得到社会认可方面的因素是复杂的，也反映了人的情感因素的影响。客观的探讨是难以达到的。“消费者至上”这一时代特征使问题更严峻。举例来说，某些食物色素已表明是致癌物而被禁用，这是可以理解的。以前，美国曾通过一个法律，其大意是任何食品添加剂都不得有致癌性。改进后的精细分析技术能够以十亿分之一，而不是百万分之一的比例来确定致癌物质，当时人们并不确定，这些技术能否使致癌率零容忍的概念行不通。鉴于世界人口剧增和能源危机引起的众多问题，人们仍然需要寻求办法，使彼此对立的看法协调起来。

1445

大体上说，关键问题在于提高人们的营养意识，要劝说家庭主妇们确信，在烹调中她们要设法保留对热敏感的维生素类，如硫胺素（维生素 B_1）、抗坏血酸（维生素 C）等，就像食品加工者们设法做的那样。要使她们确信，食物中的多种维生素太多、太少都是不利的。尤其是维生素 A 和维生素 D 这样的脂溶性维生素，如果摄取量太高，对身体也绝对是有害的。还要使她们确信，即使削掉食物外表的霉烂部分，也会因剩余的霉菌毒素而发生潜在危险，这些霉菌毒素可能以霉菌和真菌代谢物的形式存在。现在的食品加工者之所以能很好地避免这些危险，是因为他们掌握了 20 世纪食品科学家和技术人员所积累的知识和经验。

参考书目

Adrian, W. *So wurde brot ans halm und glut.* Ceres Verlag, Bielefeld. 1951.

Bitting, A. W. *Appertizing or the art of canning ; its history and development.* Trade Pressroom, San Francisco. 1937.

Coppock, J. B. M. Selling food technology, *Chemistry and Industry*, 358, 1974.

Fennema, O. R., Powrie, W. D., and Marth, E. H. *Low temperature preservation of foods and living matter.* Marcel Dekker, New York, 1973.

Food Standards Committee. *Report on novel protein foods.* H.M.S.O., London. 1974.

Food Technology Reviews, Nos. 1–20. Noyes Data Corporation, New Jersery. 1971–1975.

Francis, C. *A history of food and its preservation.* Princeton University Press. 1937.

Goldenberg, N. and Matheson, H. R. Off-flavours in foods, a summary of experience 1948–1974. *Chemistry and Industry*, 551, 1975.

Holdsworth, S. D. Dehydration of food products. *Journal of Food Technology*, **6**, 371, 1971.

Improvement of food quality by irradiation. International Atomic Energy Agency, Vienna. 1974.

Institute of Food Science and Technology of the U.K. Tenth Anniversary Mini Symposia. 1974.

Kaydlereas, S. A. On the history of food preservation. *Scientific Monthly*, **71**, 422, 1950.

McCance, R. A. and Widdowson, E. M. *Bread, white and brown : their place in thought and social history.* Pitman, London. 1956.

Plank, R. Die frischhaltung von lebensmitteln durch kälte. *Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums*, **12**, 139, 1940.

Spicer, A. (ed.) *Bread.* Applied Science. 1975.

Sturck, J. and Teague, W. D. *Flour for man's bread : a history of milling.* University of Minnesota Press, Minneapolis. 1952.

第 57 章 深海技术

T. F. 加斯克尔（T. F. GASKELL）

1446

18 世纪的重大航海发现，表明了科学家对探索新大陆和寻找动植物新物种的兴趣。运用科学和数学知识去解决航海中的问题，表明哲学家和水手的这一共同兴趣对双方都大有裨益。因此在英国，皇家学会与海军的合作非常成功，使得像“奋进号”(Endeavour) 船长库克(James Cook) 等这样一些航海先驱者决定以新的目标继续合作下去，即探测海面下的奥秘。对海洋深处的探索，毫无疑问会受到实际需要的影响。电报电缆在浅海海床上敷设成功，使人们产生了运用这种快速的通信方法来连通各大陆的愿望(第Ⅴ卷，边码 224)。当时最基本的一点是对海底地形要有所了解，从而弄清电缆所受的张力，造成磨损和断裂的种种因素，以及在深水中对电缆进行修复的可能性。另外，查清海底生物对电缆会造成何种危害也是很重要的。后来，有关洋底及其下面的地质结构的知识，为 20 世纪 20 年代以来在近海海域探测天然气和石油提供了巨大的技术价值(第Ⅵ卷，边码 386)。

电报公司曾多次采用传统的绳索和钻锤技术测深。海军舰长们为满足他们对海底的科学好奇心而用比 200 英寻标准测深索更长的绳索进行测深活动，为美国海军军官莫里(Matthew Fontaine Maury) 编集海图提供了所需资料。他的《海洋自然地理学》(*Physical geography of the sea*, 1855 年) 是第一部有关现代海洋学的教科书。首先测到数千

英寻洋深的荣誉应归于罗斯爵士(Sir James Clark Ross)，他在1839—1843年使用的是一条一英里多长的又粗又结实的麻绳。在几英里的深水处，要确定探深锤到达底部的时间是非常困难的，因为支撑重锤的绳子很重，致使重锤到达海底时绳的拉力几乎显示不出什么变化。1872—1876年，英国皇家海军“挑战者号”(H.M.S. Challenger)舰船对全世界的海洋进行了长期考察，所采用的是一根近乎能漂浮的草绳。当草绳因探深锤的重力作用而下降时，人们将绳子每下降100英寻所花费的时间记录下来。由于水对绳索产生的额外阻力，绳索下降的时间随着重锤下落的深度而增加。在重锤落到海底时，绳索每下降100英寻，所花费的时间就会明显增加。

“挑战者号”的探险航行标志着老方法的结束和海洋学作为一门精确科学的开始。另一项不亚于“挑战者号”已开始取得的进展，是1901年国际海洋研究委员会(International Council for the Study of the Sea)的成立。虽然该研究机构的直接目标是改进北海及其附近水域的捕鱼业，但也开始收集大量有关海底形状、海底构成、洋流及海床组成物质变迁等资料。摩纳哥阿尔伯特一世亲王(Prince Albert I)于1906年在巴黎创办了海洋学研究所，在摩纳哥建立了海洋学博物馆，并就北大西洋水循环问题进行了许多开拓性的试验。同时，他还设计出许多灵巧的取样器，用来收集海底生物和地质标本。

美国海岸测量局(U. S. Coast Survey)对墨西哥湾流的研究，是永远值得赞颂的。它表现了高超的航海术，使用了精良的仪器装备，进行了有价值的试验。研究在墨西哥湾流流速最急处进行，从锚泊的船只上对洋流进行直接测量，并将测得的数据同后来从海水密度测量得来的海水流量进行比较计算。据估计，这一股浩大的洋流，每秒钟可将7000万吨左右的暖水从佛罗里达往北带向纽芬兰。像用气压读数网格图可以标出风速一样，用压力分布图来计算洋流也是可行的。在19世纪，人们收集了许多海水样品，并对不同深度的水温进行了测

量，其目的是为了计算海水密度，从而计算出海水的静压力。对海水样品的盐分浓度进行测量，则是为了算出密度。通过对“挑战者号”收集的世界许多地方的海水抽样分析，发现各地海水的总浓度虽有显著差异，但其中各种矿物的相对分布情况却是一致的。这表明经过几十亿年的侵蚀，从各大陆带入海中的盐已彻底混合，含盐度的差异则起因于各地蒸发量的不同以及由于大气降水或冰的融化而混入的淡水之稀释作用。

1448

“挑战者号”用的是麻绳和笨重的测深锤，这些工具使得海深测量和海底样品的采集要花费大量的时间，并且要为拖拉绳索付出艰辛的劳动。到 19 世纪末期，它们逐步被优质钢制成的钢弦及重量小于 70 磅的重锤所取代。测探机器内装有一个制动器，它一直被钢弦的张力拉着。当重锤一碰到海底，制动器就会立即制止线盘转动，所测的深度可直接从指示器上读出来。而且其缠绕装置的性能好，所以测深进展要快得多；水温及海水含盐度的测定，也由于机械装置的改进而变得容易多了。那时，在电缆敷设过程中已收集到相当多的有关资料，这些也被英、美海军收集到考察所得的资料中。电缆敷设者们的一项有趣发现是：可通过观测正在敷设的电缆的张力变化，来获得海床的大致轮廓。新的海盆图越来越多。1899 年，国际地理大会（International Geographical Congress）在柏林成立了一个专门委员会来绘制海洋盆地总图，并将表示海底特征的术语标准化——例如深海槽、海沟、海脊及海底高原等——现在这些已成为人们所熟悉的术语了。摩纳哥阿尔伯特一世亲王接受了这项任务，在他领导下绘制的摩纳哥海洋图自 1904 年以来一直很出名。国际水文局（International Hydrographic Bureau，现称国际水文组织：International Hydrographic Organization）于 1921 年在摩纳哥建立，其宗旨是不断更新海洋图。该组织得到了全世界主要海洋国家的支持与帮助。

57.1 海底的形状

到目前为止，关于深海海底的绝大多数信息都是通过船只在海面上进行实验得到的。一般来说，光学方法用于研究陆地表层特征的效果的确令人满意。而海水不透光，用来进行海洋研究的大部分仪器必须采用物理原理，这就比使用光学方法要复杂得多。更糟糕的是，海水中所含的盐分使海水既不能成为良导体，又不能作为有效的绝缘体，所以在海水中比在大气层中进行研究要困难得多。另外，咸的海水还有腐蚀性，加上海面上又很少有风平浪静之时，在海上进行实验是一件很麻烦的事。

然而，在 20 世纪上半叶，海洋学家们排除这些不利因素，为探索海底的形状作出了许多努力，发现了有关海底下面岩层的大量资料。由于海洋覆盖的地球表面积比陆地所覆盖的要大得多；就大陆岩石板块运动来说，海洋本是地球的活跃部分；同在月球上一样，海洋内部侵蚀极小，地质证据比在陆地上所受到的损坏要小得多，因此海洋地质学研究就产生了有关地球地质史的新理论、新观点。这些研究对探测矿物资源有着重要的实际意义。

1449

探测沉静而浩瀚的海洋底的工具包括从依靠地球放射物质（例如磁场）进行的被动式探测器到利用声脉冲的探测器，这些工具都必须加上钻孔机，即一种由石油工业发展来的重要探测装置。首先需要测量的是海底的形状。用陆地上通常采用的航空摄影法来进行海底调查是不可能的，但海面却提供了一个方便的基准平面，使绘制海床的地形特征图只需逐步去测量水深就行了。

现代的回声测深仪最初是从 1925 年左右开始采用的，第二次世界大战期间得到了很大发展，其精确度甚至在海洋的最深处仍可达到几英尺。海洋如此浩瀚，以至于人们仅对那些特别感兴趣的小海域才有详尽的海图，但自第二次世界大战结束以来各国都努力探测海深，因而洋底的主要特征现已为人们所知。

回声测深仪主要由一固定在船体下的噪声源组成。早期噪声源所使用的是一金属锤，用此锤来敲击一振动膜片发出声脉冲。声脉冲在水中传播，当到达坚硬的海床时，会被反射回来。现代化的回声测深仪借助一台电激发振荡器发射高音脉冲。在声脉冲发出的瞬间，一支笔在一张移动记录纸上作出一个“0”记号。当声脉冲回波返回到接收器时，它被放大并传给笔，使笔在记录纸上作出另一个记号。纸的移动速度是恒定的，因此两个记号之间的距离对应着声脉冲从发射器到海底，又从海底返回到接收器所花费的时间。随着船只在其航向继续前进，一幅海床图就绘制出来了（图 57.1）。

1450

在浅海中，用回声测深仪绘制出来的海床轮廓线非常准确，但在海洋的极深处，图上难免会出现一些模糊之处。声波只能传播到一定

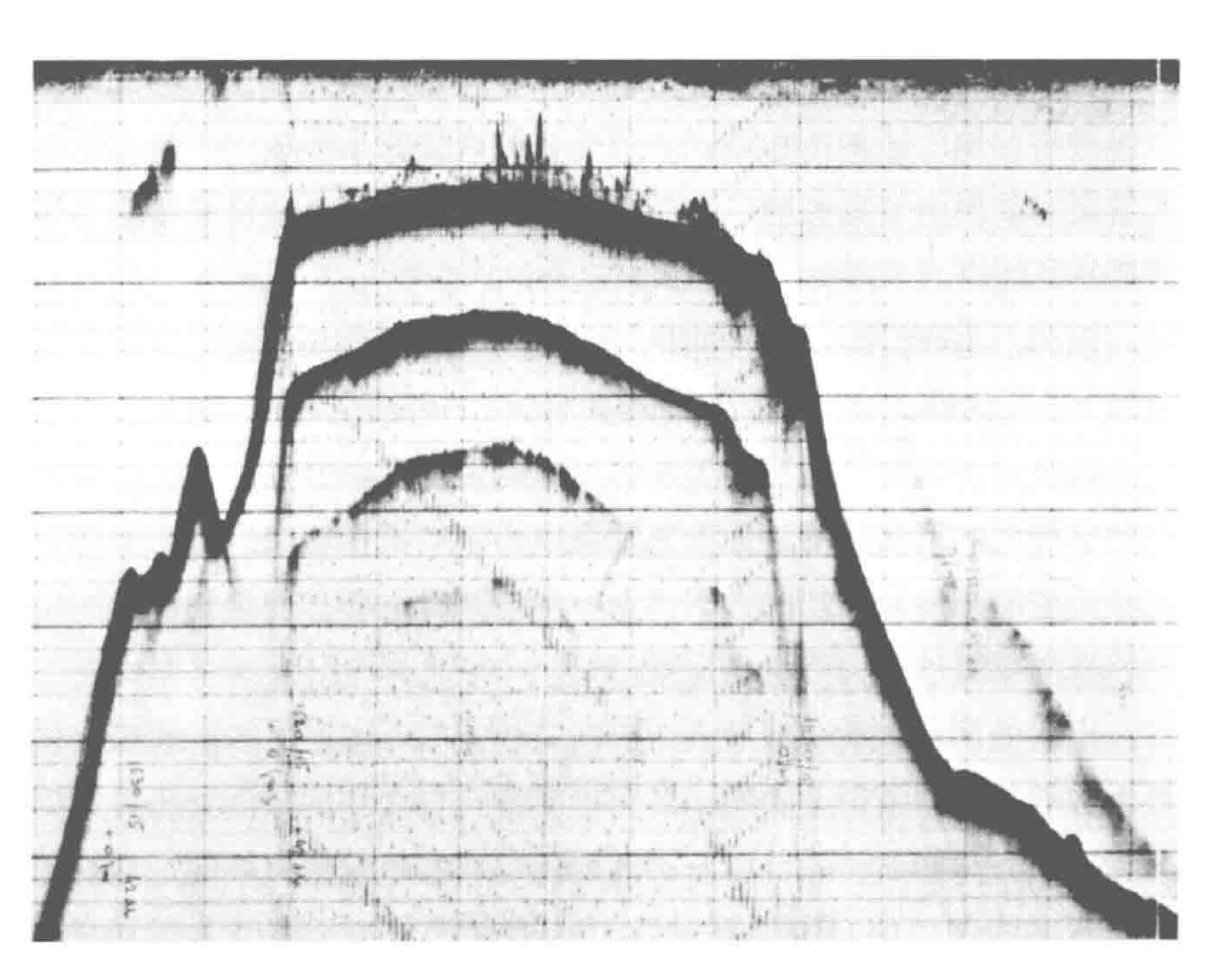


图 57.1　回声测深法对大西洋中的葛底斯堡（Gettysburg）海底山所做的曲线。

范围。为了将这种影响降到最低，人耳几乎听不见的高音声波被应用到现代化设备中。然而，即使用最好的仪器，声波穿过大约一英里的距离也会落到深海海底，回声会从海床这一地区的任一部分返回到船上。来自于船正下方的回波通常最先到达接收器，因为它传播的路程最短。如果海床的形状不规则，那么所记录下的回声就有可能是从船只航线某一侧的海底高地反射回来的。海底地势中出现陡峭的斜坡这种特殊情况时，由回声探深仪所做的记录中可能反应不出这些陡坡和峭地。另外还有很多情况，由于回声从不同的地方接二连三地返回，因而出现的是一幅杂乱无章、线条交织的回声图。虽然这样的观测结果能对海床的崎岖地势提出报警，可是却不能对海床的真实形状作出精确描绘。正如在陆地上不可能以遥远的地平线为基准来观察高山裂谷一样，回声测深仪也无法对深海区各个细部都进行观测。

一些关于海床形状及组成的有价值的附加信息，用回声测深仪发射垂直向下的声脉冲是得不到的，但可用侧向发射窄束声脉冲的方法获得。要发出窄束声波，必须使用电磁波脉冲源。船只在向前航行时，这种声波从侧向扫过海床。被坚硬的岩石返回到船只的是强信号，而松软的泥土只能将弱信号反射回来。像沉没的船只、动物残骸及石块这样一些障碍物，在标绘图上能以深色目标呈现出来。这种装置叫作侧扫声呐，它已用于北海跟踪输油管道的敷设过程，帮助人们确定管道是否完全被掩埋，是否会发生侵蚀管道的危险等。

为了进行深海研究，英国国立海洋学研究所（National Institute of Oceanography）制成了一种巨型侧扫声呐，名为“格洛里亚”（Gloria），它能在3英里水深或更深处将声波束发射到操纵该装置的船只侧面10英里处并获得反射波。由于“格洛里亚”能横向探测海底，其覆盖宽度是回声测深仪覆盖范围的许多倍，因此加快了绘制深海地形图的速度，也有助于发现地形的新特征。

于1951年发现的海洋最深处，即马里亚纳海沟（Marianas

Trench）中的“挑战者海渊”（Challenger Deep，北纬11° 20’，东经142° 30’），是“挑战者号”在1950—1952年的探险航行中发现的。这项发现表明了测量巨深的不同方法，也表现出海洋学家改良旧技术以解决新问题的卓越才能。当时“挑战者号”该维修了，它的回声测深仪在4000英寻的深度失去了回声，这主要是因为其发射机粘着海藻、贝壳等物。幸好，在一条科学考察船上，还有许多其他的方法能用来测量海深。在这种情况下，特别重要的是判明海沟轴线的位置，以便在最深处的上方安装地震测量装置。正如通常所采用的反射摄影技术一样，船每隔几分钟就停下来，起爆一个1.5磅的炸药。从海床反射回来的声波由水中地震检波器采集，并由测震摄像装置记录下来。由于该摄像机的计时系统不断同无线电的标准时间相核对，加上回波的到达可方便地从摄影记录中读出，因此这种方法在很多方面能较精确地测出声波向下传播后又返回所花费的时间。当然，这种方法也有不足之处，它所提供的仅仅是间歇的深度读数，而不像回声测深仪那样提供连续的轮廓线。

1452

用这种方法来测量的菲律宾深海沟，记录下来的传播时间超过14.5秒，所对应的深度应是5900英寻左右，所得深度几乎超过以前的最深记录1000英尺，于是用向下垂放绳索、测深锤的老方法来核查这一深度。用一个很重的铁锤（重140磅），借助于一根很细的钢弦从船尾下沉。钢弦通过刻度轮由一线轴放出，轮子的转动圈数是可以计数的，因此通过轮子的钢弦总长度可算出。这种“紧弦”装置，如同它的名字一样，一般是用记录放出的钢弦长度来测量船沿直线方向运动时所通过的水平距离。只要让重锤放下时保持钢弦在水中的垂直状态，那么就非常适于测量海的深度。这是很容易做到的，因为钢弦是从船尾放出的，圆形的船尾有可能一直使船迎着微风。因此，只要船尾发动机稍提供一点推力，就能很好地控制钢弦，使其保持垂直状态。

这里的水很深是根据这样一个事实得出的：重锤下落至海底共花费了1.5小时，记录的深度为5944英寻（2716米）。

数月之后，"挑战者号"装备了第一流的回声测深仪。在从新西兰返回的途中，"挑战者号"对20英里长的海沟区域进行了一次彻底的勘测，发现存在一块长20英里、宽0.5英里的区域，其深度超过了5900英寻。当时由于回声讯号不够强，不能在记录纸上出现任何记号，但通过耳机是很容易听到的，数位观测者由此对该区域深度作出了精确的估计。回声在大约5600英寻至5800英寻的深处减弱了，这里的坡度大约为1∶3；然而到沟底处，反射回来的讯号又变强了。这一点是可以预计到的，因为反射声波在海沟最深处趋于集聚并传回船只，而在斜坡处是发散的。这里，最陡峭的斜坡坡度至少为1∶2，还有几处坡度为1∶6的斜坡延伸了1—2英里。但是，某些地方有一英里或两英里的平坦海沟，那么其边缘区准会有断崖或阶地存在。从深度4000英寻到海沟底部的平均坡度大约为1∶7。从3000—4000英寻深通向海沟区域就更加平缓了，其坡度大约为1∶18。

然而，世界上最深的海沟是一条宽约60英里的大深谷。该地带间或有一些险陡的断崖，但总的平均坡度还是同陆地上可行驶机动车辆的坡度差不多。1957年，苏联海洋考察船"维塔兹号"（Vityaz）用一台英国式的回声测深仪，在实验允许的误差范围内证实了该海沟最深处的深度同"挑战者号"所发现的深度是一致的。后来，1960年，人们将"的里雅斯特号"（Trieste）深潜器放至海沟底部，用测量海底压力的方法测出其深度为6000英寻。

对世界海洋深水海图的研究表明陆地几乎被浅水覆盖的台地所包围。这就是人们所知晓的大陆架。其宽度变化很大，最窄处——非洲西海岸的沿海大陆架宽度几乎为零，最宽处——墨西哥湾内的路易斯安那和得克萨斯的近海区大陆架宽度约为1500千米。大陆架总的平均宽度约为80千米，其表面逐步向深海方向倾斜，边缘处深度

约为 130 米。

虽然大陆架地区的面积仅占地球水域面积的约 7.5%，但实际上已达到地球总陆地面积的 18%。然而，大陆架的意义在于它代表着大陆向海洋的延伸部分。在上个冰河期后，大陆曾一度发生过伴随融冰而产生的沉没现象。这意味着大陆架的基岩与所连接的大陆保持着地质上的延续性。

大陆架的表面可能是平坦的，由基岩组成；但更多的是不规则的，上面总是覆盖着新的沉积物，而且总是被水下峡谷或峭崖分开，其位置的排列就像陆地上的一些主要江河一样，如西非的刚果河及美国东海岸的哈得孙河等。这些河谷往往被湍急的泥沙流所切割，急流向大陆架快速冲下来。到了大陆架边缘的海底时，泥沙就沉积下来。以这种方式产生的沉积物通常被称为浊流层。

越过大陆架之外的海底由大陆斜坡（或隆起地）和深海平原组成。离大陆架愈远，海底的倾斜度就愈大，其坡度大约是 1∶15，而且是从大陆斜坡逐渐向深海平原下降，该区域中的水深一般为 6000 米。

这些深海沟——如太平洋上的马里亚纳海沟及部分深海平原——含有由黏土和动植物残骸形成的沉积物。这些东西往往经历了缓慢而又长期的积累过程。从这些沉积物的核心部分取出的材料显示沉积物已有数万年的历史。

1454

深海平原的表面除了受到海脊的截断外，还受到海底火山的干扰，其中有些还是活火山，如南太平洋中的一些火山，但其余的大都是死火山。海脊对于了解大陆与海洋的起源有着重要的意义。许多年来，人们对海脊的认识一直很肤浅，对其进行详细研究还是近期（指 20 世纪 70 年代）才开展起来的。人们现在已知道，在全世界的海洋中，连绵不断的海脊一直延伸到海洋中部，长达 4 万英里左右。海脊往往被裂缝或断层割开，脊峰本身也常被深谷断开。最著名的海脊是中大西洋海岭，它从冰岛附近开始向南延伸，构成北大西洋海岭（North

Atlantic Ridge)，然后又从北大西洋海脊继续向南延伸，中途在南美洲和非洲之间形成南大西洋海脊。

深海底沉积物的表层下面是玄武岩，而玄武岩又覆盖在地壳的厚地幔上。这种情况可同大陆区域形成对照。大陆以及环绕着它的大陆架的底部是花岗岩的，花岗岩本身又覆盖了玄武岩底层。

通过对海脊的研究，以及对海脊同地壳的玄武岩层和花岗岩层关系的研究，产生了海底扩张理论。这种理论使地质学家和地球物理学家产生了丰富的想象力，引发了地质学中有关大陆和海洋历史认识上的一场革命。1911 年，魏格纳（A. Wegener）提出了一种理论，即各大陆块原来是一个单一的陆地块［联合古陆（Pangaea）］。这一大块陆地后来被分割成若干小陆块，而这些陆块逐渐漂移离去。该理论引起了生物学家的兴趣，因为这种理论与进化论的许多观点是一致的。但是，许多地质学家对此持怀疑态度，因为他们认为魏格纳引用的理由不够充分。

1937 年，南非的杜托伊特（A. L. du Toit）提出一种假说，即原本不是一个大陆块，而是两个：一个在赤道以北，另一个在赤道以南。该假说认为各大陆块与它们的花岗岩基底是被对流涌动的玄武岩层携带，各自“漂浮”离开，而这被认为是由于地壳上部发生物理变化而造成的。深洋一直被人们当作地球表面上的古老特征。然而，后来的证据表明，就地质学观点来说，这些深洋还是相当年轻的。海床在不断发生变化；海洋从中脊向外扩展，同时产生了各大陆块被挤压而隔开的现象。

通过测量深度、海底取样、磁力调查所进行的对海洋中脊的详细研究已表明，海脊是由玄武岩组成的，而玄武岩又来自地球内部更纵深处。在海脊的顶部是一条长峡谷带。沿着这条峡谷带，地震频频发生。人们认为，地震是因长峡谷的裂化及液态玄武岩上涌而产生的，液态玄武岩还会在裂隙中发生固化现象。磁性研究显示，这是一个连

续不断的过程。在该过程中，海脊会裂化断开，海床被下面的玄武岩贯入挤压至一旁，玄武岩会形成新的洋底。因此，我们可以认为海床有一个不断形成的过程。据估计，在此过程中，海底以每年数英寸的速度扩展。

大陆漂移学说现在原则上已为人们所接受，但并不完全是杜托伊特拟定的那种模式。与此相反，我们认为有一系列联结大陆及海底的板块；这些板块沿着海脊移动，被海洋中脊隔开。在一定的场合，这些板块会发生“碰撞”。当“碰撞”发生时，一块似乎要“沉没”到另一块下面。例如，沿着美国西部海岸形成的太平洋东部的一个板块似乎要“沉没”到北美大陆块下。反常的地震强度标明了这条线，1902 年旧金山发生的地震就是其中一个突出的例证。

57.2 海床沉积物

老式的重锤与绳索测深法，给我们提供了许多海底标本。这种方法是在测深锤里装一个空心柱头或一些获取岩心的管子。标本的回收不仅表明已接触到了海底，而且也证明在海洋深处有生命存在，并提供了泥沙沿着大陆斜坡和海脊到深海平原运动的证据。还有一些有关海床的资料是水下摄影收集的。这些照片表明存在着许多植物、动物和一些动物的踪迹，以及其形成的瘤状矿床。特殊设计的水下摄影机（包括电视摄像机）在判明沉没的潜艇和其他船只中起了很大作用。深水域运载工具，如深海潜水器（图 57.2），

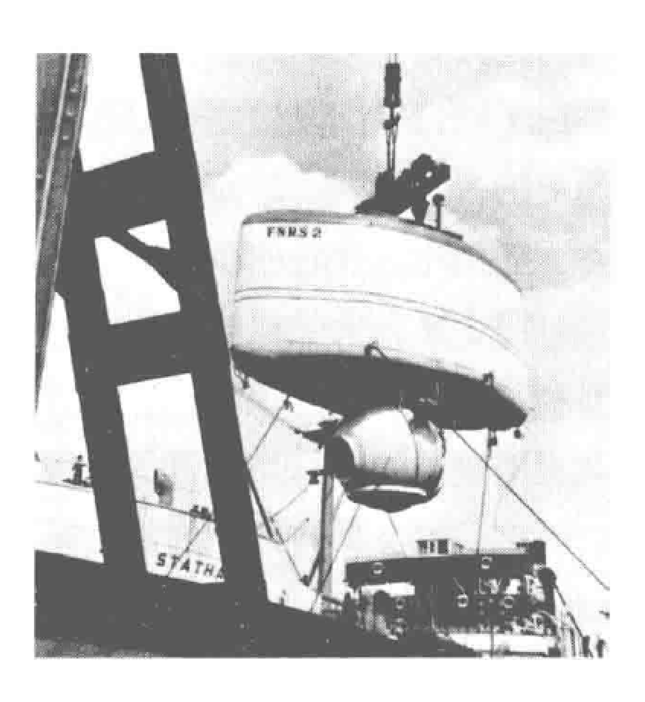


图 57.2 在 1946—1948 年间，皮卡德（Auguste Piccard）教授建造的 F.N.R.S.2 号深海潜水器。

1456

已能让科学家到现场观测海底。从最早开始研究海床以来，人们就一直用采样器将岩石和泥浆从海床采出。“挑战者号”在1872—1876年的航海探测中，就是用这种方法采集到大量动植物标本，从而进行这方面研究的。

为了向下穿透沉积层的表面，往往用不同的落锤系统将长长的采样管打入海床中。从世界上许多地方所取的岩芯长度约为20米。现在，许多较深的洋底采样都是借用石油钻井技术进行的（第Ⅵ卷，第16章）。1924年在委内瑞拉的马拉开波湖（Lake Maracaibo）发现了巨大的储油层。从那时起，在大陆架的浅水区域就不断找到石油。浅水区（几十米深）的钻探是通过在海床上建造固定装置来进行的，但逐渐在几百米深的地方找到油田，在那里采用不同形式的浮动船只来进行钻探变得十分经济实用。

1958年，莫霍计划（Mohole Project）在美国制订出来。该项计划由国家科学基金会（National Science Foundation）制订，用来调查是否有可能将石油钻探船用于5000米深的海洋钻探，以及能否通过地壳钻井得到地幔下的岩石标本。人们通常认为海洋下的地幔比大陆下的地幔更接近表层一些，因此在海洋中钻探的困难会比浅滩钻探要少得多。周密考虑的设计和油田的工作实践都表明这一计划是可行的，但用于建造和使用这种特殊船只所需的大量资金却匮缺。幸好，美国国家科学基金会能对这项深海钻探计划（Deep Sea Drilling Project）提供财政资助。相比之下，此项计划较现实，其主要目的是为了更多地了解深海盆地的历史及其起源，也是为了更深入地了解导致过去地质变化的过程。当然，这项计划也为发展深海钻探技术提供了宝贵的机会。这些目标已经实现，而且对几千英尺深海床的穿透也提供了直接证据，来支持有关板块构造的现代理论。随着海洋钻探经验的逐步获得，总有一天会到达地幔。

1457

执行深海钻探计划的船只是“格洛玛·挑战者号”（Glomar

Challenger），其排水量为1.05万吨，长度为400英尺，宽度为65英尺。142英尺高的井架安置在船的中央部分，钻头通过20英尺×22英尺的井孔操作。这艘船装有双螺旋桨，每个都由3台750马力的电动机驱动，可使船在前进时最高时速达到每小时12.5海里。除此之外，还有4台肖特尔-内德兰式(Schottel-Nederland)侧推器，每台提供1.7万磅的推力，安装在船头和船尾，可使船只在深水位置不抛锚就保持不动。这种完善的操作方法很大程度上要归功于莫霍计划在被废止之前进行的大量研究。动力定位法，顾名思义，在此后若干年内，对石油开采业中的浮式钻井平台及半潜式钻井平台的发展都将具有极大的潜力。抛投巨大的船锚，将以保持钻井船牢固地定位，费用是昂贵的，而且要花费大量的时间。在狂风暴雨中，大锚被拖动是非常危险的，常常必须切断锚链使船只漂流。在极其恶劣的风暴中，甚至采用动力定位都不足以保持船只固定，但至少能使船头保持朝向风浪的方向。动力定位法是一个由学术研究产生的应用技术的极好实例。

靠涡轮钻机驱动的钻杆可长达2万英尺，它在到达海床前可能悬吊在水中。钻井时，海水被用作循环液。但如果需要，也可利用船上的钻探泥浆来支撑井孔的壁。因为循环液沿着井孔壁的环形空间流到海底，所以没有岩石碎片返回到表面。采集岩芯标本的岩芯桶是用钢丝绳放下和吊起的。

岩芯从岩芯桶中抽汲到甲板上，再装进空塑料筒内，随后被切成5英尺长的小段。这些岩芯段在船上就被进行相当全面的初步分析。它们被称重，进行X光透视，测量天然放射性，测定孔隙度及密度。然后，岩芯被纵向切割，放进特殊的塑料容器内，并进行拍照。

1458

57.3 地震勘测法

正如我们已提到的那样，可利用声波在水中的传播特性，通过回声测深仪测出水深。同样，可利用地球的声波传播特性，来阐明地球

的地质结构。通过对地震波的研究，得知地球可分为几个主要部分：10—30千米厚的地壳岩石；1500千米厚的地幔岩石；另外就是液态岩芯。地震波与用于回声探测的10—20千赫的频率相比，其频率是非常低的(几分之一赫)。

据观察，在某些情况下，一台普通的回声测深仪能显示出位于松软泥层下的坚实基岩。当计划疏浚淤积的航道或计划建设新码头和防波堤时，这类情报是很有用的。第二次世界大战以来，对回声测深仪进行了特别改进。特别要说明的是，许多不同的声源得以开发。

“火花放电器”噪声源就是在水中放电，最初是将一排充电的电容器同汽车火花塞相连而产生的。由于火花放电器有一些“轰鸣器”，这里一个电磁脉冲就会使其中的金属板突然产生运动；一个空气枪室，它会产生气体爆炸；以及一个气体枪，它会将空气脉冲释放入水中。各种类型声音的不同性能，取决于它们所能产生的功率、声脉冲的频率和波长。

一般来说，低频信号对海床有较强的穿透力，波长较短的信号可对不同地层有较准确的分辨；另外，功率较大的，能在较深的水域中进行探测。“火花放电器”、瓦斯枪等，都已证实在同近海钻探及管道敷设有关的土木工程中具有较大的价值。在深海勘察中，气体枪已用来绘制表明原海底坚硬岩石的断面图，这些岩石已消失在由松软沉积物形成的平坦池槽中。

用地震反射技术绘制地下岩层的深度变化，是地球物理学家研究石油时所运用的一项主要方法。多年来，地震反射技术已经成功地在陆地上发现了大量石油和天然气资源。而且地震反射技术也大量用于查明全球大陆架区域所蕴藏的具有商业价值的石油结构。在这些地方，水深达几百英尺，用一般地质上采用的确定油田的方法是行不通的。

地震反射实验实际上是由回声测深法衍生来的一种方法。它以爆炸为声脉冲源，用现代化的电子技术及计算机技术对回声进行分析。

这种方法一直用来探测深海区域，然而我们对海洋地质最惊喜的发现还是由在地震学中用地震波研究等类似的方法开启的。

在地震“折射”实验中，虽然曾使用振动器、气体爆破和重锤降落等方法来产生地震形波，但通常还是用爆炸来产生声波源（图 57.3）。图 57.4 表明了在 A 点由爆破发出的声波传播到 B 点可能经过的几条途径。它在表面层是以“直达”波方式水平地传播到 B 点的；而且，此波总是很明显在反射波 ACB 之前到达，因为其传播的距离总是要短些。“折射”波是沿着 ADEB 路线传播：在上层中的 AD 部分向下传播，EB 部分向上传播，但主要传播部分是下层中的水平段 DE。

沿 AD 传播的声波在两层间的分界区被折射，这与光从空气传播到玻璃棱镜里被折射或弯曲的情况相同。在 E 点声波再次被折射，向上传播至顶层，然后以完全对称的方式返回到 B 点。那么，虽然 ADEB 路线比 AB 的直达波或 ACB 的折射波要长一些，但传播所花费的时间却不一定比它们长。如果水平距离 DE 很长，那么在快速层中传播所节省的时间足够用来弥补在较慢顶层传播多花的时间。

为了利用这些折射波，可在不同的距离上进行几次爆破，并且记录每次在爆破点与检波器之间的不同距离 AB 上声脉冲传播所需的不同时间。在短距离内，记录下来的是直达波，这就使在顶层内波的传播速度得以测定。超过了一定距离，折射波就先到达检波器。根据这时得到的数据，就可计算出声波在下层的传播速度。

折射波的传播时间是由恒定的间距 AD 和 EB 再加上水平部分 DE 组成的。在恒定间距中，声波向下传播到快速层，然后再返回；而对水平距离 DE 来说，其传播时间随着 DE 部分的增加而均衡增大。

地震波折射试验不仅能计算出海床下不同地质层的深度，而且还在某种程度上提供了一些线索来判明岩石层的状况。这是因为地震波折射试验能使声波在每一层中的速度都得以测定。虽然不同形式的岩

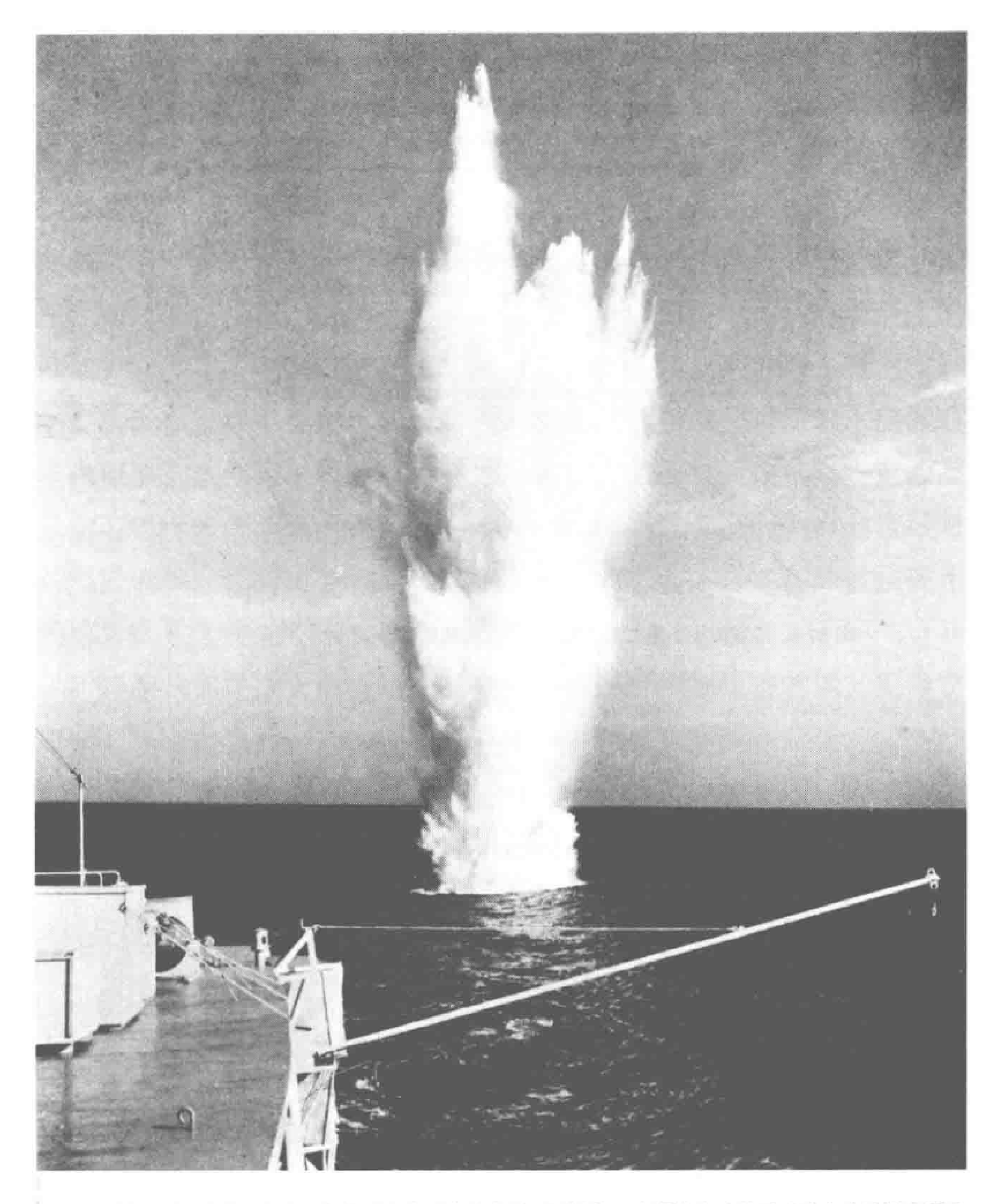


图 57.3　在地震试验中用深度 - 负荷爆炸来测定海床的下层结构。由爆炸产生的震动波在未被检波器采集到之前，以不同的形式在它们所通过的材料中进行折射和反射，这样就可测定传播所花费的时间了（参见图 57.4）。

石可能会落入同样的速度区，但一般来说，坚固的岩石有较高的传播速度，而质地较软的沉积岩地震波传播速度较低。

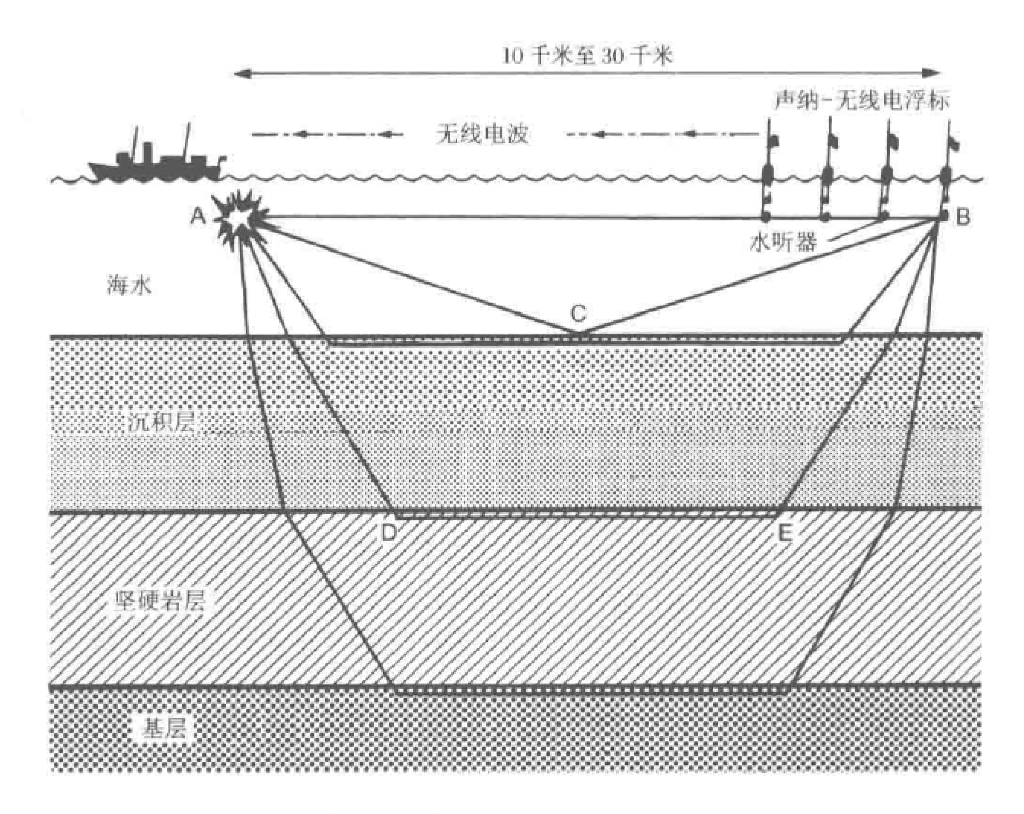


图 57.4　地震试验中用来测定海床下层结构的检波器。

图 57.5　在阿布扎比（Abu Dhabi）外的波斯湾和阿拉伯海湾（Persian/Arabian Gulf）海床所置放的重力仪。地球表面重力读数的微小变化可表明这块海底的大约深度，以及是否发生了折叠或断层现象。

57.4 磁性测量法

1701 年，哈雷（Edmond Halley）首次在海上系统地进行磁性测量，这与水手在早期所使用的磁针罗盘是有联系的。这是因为在地球表面的不同地方，需要确定在正北与磁针所指方向之间的角度差别。这个角差若干世纪以来变化很慢，结果造成磁极常被用来代替地球转动轴。

地球磁场所显示的强度微小变化，是由岩石的不同磁性而产生的。例如，它一直被用来指示铁矿床的位置。磁性测量可以在飞机上进行，第二次世界大战中设计出的饱和铁芯磁力仪就是用来对付潜水艇的航空磁探器。该仪器也可置于船只之后拖曳，但须与船只相隔一定距离，从而可不受船只产生的磁性影响。当该仪器通过含有火山岩的区域时，可测出地球磁场的微小变化，这是因为火山岩就是冷却了并被强磁化的熔岩。

然而，如果这火山岩侵蚀区被数英里厚沉积物覆盖的话，那么它对地磁场所产生的局部影响在很大程度上就会被消除掉。为了判断沉积层是否具有储藏石油的足够厚度，石油公司就用这一事实来进行沉积物区域的初步探测。海洋磁性测量的结果，已经为支持有关海底扩展新理论提供了依据。

在太平洋中，沿着墨西哥及加利福尼亚海岸进行的磁性观测，表明该地区有着独特的磁场变化模式。这些沿着几条东西向轨道的变化模式表明有一个很大的横向错位，意味着几百英里的洋底所进行的侧向运动。

57.5 重力测量法

地球的地心引力在某些地方发生百万分之几的变化，其原因在于所掩埋岩石密度的变化。例如，在北海就有一厚实的岩盐层覆盖在气储层上，那里呈现出反常的低重力读数，这是由于盐的密度比正常沉积岩的密度小得多。在海上测量地球的重力场是十分困难的，因为即

使船舶的轻微运动所产生的加速作用，也比由局部地质作用所产生的微小变化要大得多。

海洋上最早的可靠重力记录，是由测定一艘潜水艇内摆锤的摆动时间而获得的。此领域中的先行者是芬宁·梅因纳斯（F. A. Vening Meinesz），他在20世纪20年代可动用荷兰皇家海军潜艇。潜水到波涛下进行测量，水运动可减少到最低限度，也可以直接将重力仪放置于海床上（图57.5）。现代化稳定平台起初是为海军重炮而设计的，能够使在水面船只上的重力测量精确到百万分之一，当今的许多海洋考察船上都装有重力仪。

值得注意的是，在这种重力测量被人们考虑用于海洋考察之前很长一段时间里，他们想的不是用这种方法来了解海底地质情况。1876年，西门子（E. W. von Siemens）发明了一种可用于海上的重力仪，希望这种仪器“能使船长不用测深锤线就可测定海深”。实际上，这种仪器是行不通的。因为处于大陆和海洋之间的地壳岩石分布对于因海水而缺少的引力，已被密集的地幔岩的附加厚度补偿了。因此，其重力的值并不能反映出水的深度。

在20世纪的头10年内，黑克尔（Hecker）在一艘船的舱内进行了重力测量。他是通过用水银气压计所表示的大气压力，同用测高计中所测的水的沸点经过计算得出的压力值进行比较。水银计上的高度要根据重力进行修正，沸点只取决于上层大气中空气的量。虽然这项试验显示了海上的重力和陆上的重力之间的普遍一致性，但同时也表明了重力并不具有直接测量海深的实用价值。

理论上，重力测量法可用来计算纬度，因为地球并非一个圆球体，而且地球表面在两极比在赤道更靠近地球中心。这点对现代化的潜艇航行是很有用的，因为潜艇要潜在海底很长时间，因而在数周内都不能依照太阳及星星的迹象来确定方向。所以，一幅标有重力异常的世界海图是精确计算的必需品，因为这些异常是由深海沟等特征造成的。

57.6 热流

1464

因地壳内部放射性元素衰变而产生的热流，会不停地溢出地球表面。由于活性热源元素在大陆下的花岗岩地壳内比在海洋下的玄武岩地壳内更丰富，因此可以估计，在海洋下能观察到的热流量较少。测定热流可将测温传感器投入海底。这类探测器同陆地上所使用的测温传感器标有类似的读数，但其变化较大。特别要指出的是，高热流通过海脊，暗示着热物质从地壳下流出并向上运动，从而导致地幔中可能有对流产生。

57.7 海洋矿物

海水中蕴藏着总量为 5×10^{16} 吨的固态物质，包含所有已知的元素。大多数元素的稀释度都很大，只有极少数能较经济地提取出来。普通的盐、淡水、镁及溴已从海水中被大量提炼出来。将来，当海水浓缩沉积物可在陆地上使用时，可从中得到另外一些矿物质，如铀等。

据估计，世界上的石油有1/4蕴藏在大陆架浅海区域的海床下，所以如今已建立了许多海洋石油生产点。对于深海底下是否大量存在有开采价值的石油，这点是有疑问的。但是一些探矿者估计，在深度为0.5—4.5千米的大陆斜坡范围内会存在有开采价值的储油层。毫无疑问，在这样的深度下开采石油耗资极大，但可采用在大陆架得以发展的采油技术。用于地震研究及钻探方面的探测技术，已经在深水中得到运用。研究深海的海洋学家和致力于浅水域的石油开发者之间不断就使用工具等问题进行交流。最早的海上地震试验，是由海洋学家在美国东部海岸及英吉利海峡的西部入口处进行的。海洋学家在沉积层厚度方面的发现使许多石油公司进入多产石油的近海区域。为研究海床而设计的声学探测装置已用于浅水域研究，以辅助石油开采工程；而石油公司不断发展的钻探技术也对“深海钻探计划”所从事的

1465

地球科学研究作出了重要贡献；反过来，在深海钻探中得到的经验将

为深水石油生产提供所需信息。

虽然除了钠、氯、镁及溴以外的大多数元素因为稀释度的原因而不可能从海水中大量提取，但大自然却赐给了一些浓缩方法，可以对海洋进行经济开发以提取两类有用的金属。在深海的许多地方都可找到锰结核，可用来生产出铜、钴、镍和锰，而磷钙结核是磷的蕴藏源。红海中的软泥和热盐水中含有铁、锌、铜、铅、银及金，这些物质的浓度都比普通海水的浓度要大得多。

“挑战者号”在1872年的远洋考察中所进行的深海采掘表明，现在被人们当作锰结核的东西早就广泛分布在世界的三大主要海洋中。据估计，有1.5×10^{12}吨这类形如马铃薯的易碎褐色块状物遍布海洋底。在某些区域，其密度可能高达每平方千米5万吨。当然，锰还是某些钢材的一种重要成分。

在有些沉积层内，锰结核含有2.5%的铜，2.0%的镍，0.2%的钴，以及36%的锰；而在另外一些沉积层内，钴的含量可高达2.6%，锰的含量则高达57%。由于不同组成物的价值各不相同，因而一些沉积物当然就比另一些更有价值。

尽管已采用的吸扬式或链斗式挖掘系统都是可行的，但开采锰结核的经济潜在价值仍然是一个未知数。这是因为同陆地矿石相比，较有价值的金属——铜、镍及钴，在锰结核中含量较低。无论如何，海洋中包含了人类似乎永远需要的矿藏，如锰、铁、钴、镍及铜等。待到费用较低的陆地资源用尽时，大量的技术肯定将会有效地运用到海底矿源的开采中去。

第二类结核状矿床具有潜在价值。海洋调查表明，含磷岩石广泛分布在大陆架及大陆斜坡的海底中。一般来说，沉积矿物在上升水流区域最丰富，由于深海洋水含有浓度相当高的来自海床的磷酸盐，因而有可能在与较温暖的、酸性较强的洋面水相遇后，使矿物质沉淀下来。此种结核中含有大约20%—30%的五氧化二磷（P_2O_5）。但将它

同陆地所形成的至少含31%的磷酸盐相比，将陆地上的磷酸盐用来生产化肥就更经济实惠了。陆地上磷酸盐的资源仍然非常丰富，由于海中生产的造价太高，因此近期内磷酸结核似乎不会被人们开采。

在几次海洋考察中，在进行温度和含盐量的测定及海底取样的过程中，查明了红海底部存在着一种有趣的现象。第一次探测是1948年由瑞典考察船“信天翁号”(Albatross)进行的；接着另外一些考察船也发现了海底有若干个大型的热盐水池。盐水池位于红海的中线、水深约为2000米的地方。盐水层厚度约为200米，温度为56摄氏度，含盐度为25%，而一般的红海水含盐度为4%。这大概与一条活动线有关，在这里由于阿拉伯半岛从非洲大陆被拉开形成红海，引起火山喷发高热。由于许多海洋区域内正在发生与红海中相似的裂开现象，因而可能有另外一些热盐水池也含有相应的高浓度矿物质。

分析盐池下的沉积物，得到下列金属成分：铁29%，锌3.4%，铜1.3%，铅0.9%，银54ppm，金0.5ppm。据估计，沉积层10米厚的上层总重量为5000万吨。由此可见，红海底存在着大量珍贵的金属资源，它们被浓缩后在陆地上开发利用是经济实惠的。

虽然这些含盐的海水短时间内不会被开采，但对这些资源进行深入研究是有价值的，它能表明这些浓缩过程在过去的地质情况中是如何进展的。对于自然界演变过程的全面了解，会引导工程技术人员开发出类似的方法来改造传统的矿体。

参考书目

Bullard, E. C. Minerals from the deep sea. *Endeavour*, **33**, 80, 1974.

Deacon, G. E. R. (ed.) *Oceans*. Hamlyn, London. 1962.

Encyclopaedia Britannica. Vol.19, p.967, 1911.

Gaskell, T. F. *Under the deep oceans*. Eyre and Spottiswoode, London. 1960.

——. *Physics of the Earth*. Thames and Hudson, London. 1970.

——. *Using the ocean*. Queen Anne Press, London. 1970.

Heezen, B. C. and Hollister, C. D. *The face of the deep*. Oxford University Press, London. 1971.

Maxwell, A. E. (ed.) *The sea*. Vol. IV. Wiley, New York. 1971.

Schlee, Susan. *Edge of an unfamiliar world*. E. P. Dutton, New York. 1973.

Stommel, H. *The Gulf Stream*. University of California Press, Berkeley. 1958.

第58章 技术与生活质量

特雷弗·I. 威廉斯（TREVOR I. WILLIAMS）

1467

在这两卷的前言中，作者声明他们的目的在于不仅要展现出20世纪技术史上的重要事件，而且还要对这些事件的意义作出鉴别。因此，在这部《技术史》的结尾部分，我们应适当评价技术对现代文明的贡献。首先，必须承认，这不是一个适于许多无条件结论的话题。我们可以希望前面各章节中所列举的事实是很充分的，但作出的评价却是见仁见智的。从一开始，就必须认识到这个论题带有主观性和感情色彩，且不近常理。在某些人看来，技术实质上是一种起破坏作用的力量（destructive force）：它毁坏了农村及其淳朴的生活，污染了食物和饮水，破坏了环境的自然美景，广泛地摧毁了传统的生活方式。1962年，卡逊（Rachel Carson）的《寂静的春天》（*Silent spring*）一书所引起的轰动，就是这种情绪的明显表现。另一方面，可以想象，虽然更加现实主义的思想家们承认上述不利的后果，但认为这只是以较小的代价换取了无可争辩的利益。因此，国与国之间在这个问题上的分歧也是合情合理的。例如，多数西方国家的经济基本上表现为资本集中，那些减少劳动力需求的技术发展是非常受欢迎的。而在许多欠发达国家，急切要解决的根本问题是为大量的失业者找到工作。至于是否运用技术装置来节省劳力，就众说纷纭了。然而在这些国家，人们非常需要许多现代技术的产品，需要杀虫剂来消灭蚊虫引起的疟疾，

需要化肥和灌溉系统来增加粮食作物产量，需要抗生素及其他药物来防治传染病，需要用各种维生素来补充每日饮食中不足的营养成分，等等。另外，还需将技术用于完全不同的方面。在欧洲，许多国家急

1468

于增加人口，便向家庭提供经济补助，以这种形式鼓励生育。这笔费用主要靠改进技术、提高国民劳动生产率来支付。而在世界其他人口过剩的国家，政府提供像晶体管收音机这样的高级技术产品来推动自愿绝育之类的活动。如果要设法调和上述种种差异甚大的态度，或许可以说有一点是最重要的，即几乎没有人愿意历史完全倒退。不知化学品为何物的嗜食者、原子能发电站的反对者以及那些反对新采矿工程的示威者，极少会拒绝服用急救药、打电话找人求助或者救护车一路风驰电掣地把他们送进设备齐全的医院。在这几卷中写到的许多其他技术产品一直很适用，他们也未发现任何不妥。

现在真正的麻烦在于人人都喜欢有选择性的欲望，而这种欲望在生活极舒适时表现得最强烈。因此，在技术先进的西方富裕国家里，追求饮食时尚的人可以很容易地大饱口福。但对非洲和亚洲而言，数以亿计的人生活在贫穷地区，他们所关心的并不是食物生产中是否用了化学物质，或者粮食加工是用石磨还是碾压机来进行，而是有无食物。对于这个总的概括，我们还应该做一个重要补充：如果某种食物属于与宗教信仰严重抵触之物，那么那些虔诚的人即使饥肠辘辘，还是不愿进食。但在富裕的国家里，这种禁忌所带来的不便可以忽略不计。那里，一方面财富提供了可挑选的便利，即使鱼被禁食了，吃得好还是不成问题的；另一方面，随着财富和欲望的增加，宗教习俗往往失去严格的约束力。在较落后的社会，情况却大不相同。各种教规，包括与饮食有关的许多清规戒律，都要严格遵守。

这种选择性的欲望，在合胃口时，会受到技术拍手的欢迎，反之就会毫不犹豫地被拒之门外。但是我们不禁要问，这种欲望是否果真可实现。倘若这样，那么多大程度的人为制约是可取的。从对这种欲

望的研究中如果能悟出一点道理的话，那就是技术必须在广阔的先进领域里发展，否则根本就发展不起来。一个领域取得的进展，常常给目标与之毫不相干的其他领域的新发展指明了方向。对物质结构所进行的纯学术研究，最后衍生出了曼哈顿原子能计划。这一计划对战争与和平产生了极为巨大的影响。早先已提出过，原子可嬗变成一种能源。但 1933 年，卢瑟福（Rutherford）竟然斥之为“充其量只不过是一个幻想”，虽然在此之前他对基础科学比谁都更热心。曼哈顿原子能计划之所以能实现，完全是因为充分利用了各个工程领域——机械、土木、电气、电子、化工和制造等——以及化学、冶金学、水力学和陶瓷玻璃工艺学，还有其他多得难以列举的学科领域的成果。此外，肥料和炸药原料作为的合成氨，其生产也只是随着高压反应容器的研制成功和投入使用才成为可能。高压技术也成为聚乙烯生产中的一种基本要求。某一领域前沿的进展总会给一度沉寂的另一领域带来活力。例如计算机的使用一度受到限制，只被人当作一种机械装置。但热阴极电子管及后来晶体管的采用（两者起初都用于无线电通信）使这种局面得到了彻底改变，计算机领域才有如今众所周知的成果。技术要靠进化及异花嫁接：它靠自己的养分成长。天才的慧眼或许预见到，现有的各种技术如何结合起来引出向往的结果，但按照相反的顺序进行却完全是另一回事：要先确定出可一致接受的目标，然后创造出达到这一目标所必需的技术。例如，太空飞行是人们幻想了许多世纪后才终于在我们这个时代实现的。但这种情况若采用事后诸葛亮的办法，可以肯定，即使许以高官厚禄，也不可能在很久前实现。直到 20 世纪中叶，将各种技术综合运用的条件具备了，而且还有并非不重要的政治诱因促使了提供巨大的人力财力资源的收入，才使这一非凡的进展成为可能。

1469

此外，如果我们可以作出又一个概括的话，那就是人类本身显示出超常的应变能力。如果某种新技术最初出现的时刻，不被人们视作

其发展的开端，而总被视为是对社会开始产生广泛冲击的时刻，那么至今尚健在的老人们要使自己适应这种情况的变化就很不寻常。他们都经历过因汽车和飞机的出现而引起的交通运输方面的革命。我家的老人还能清楚地回忆起布莱里奥（Blériot）第一次飞越塞纳河的情景，现在几乎每天都见到“协和式”飞机在头顶上飞过。住在边远地区的千家万户除了无法得到供应城市的煤气以外，现在也享受到电这种快速、辉煌的光源及能源的好处了。在通信方面，电话和无线电可在片刻内将世界最遥远的角落连接起来，而早先则要耗费几天或几周的时间。休闲时间，电影技术为大众提供了一种全新的消遣娱乐工具。电影业在 20 世纪 30 年代的发展势头挺旺，但后来却遭遇到收音机、电视机及各种高级电唱机的挑战。人们不用走出家门就能享用这些设施，从而改变了家庭及整个社会生活的模式。这些深刻的变化被人们如此泰然自若地接受，或许我们处于设想人类适应力无限度的危险之中。对于更深层变化的适应能力是否有限，有确凿证据表明，人们正日益强制自己去适应。近些年发明了许多所谓的他择性技术（alternative technology），这些技术的运用表明有人想在西方高度组织化的完全依靠先进技术的社会与完全依赖自己资源的之间走一条折中的道路。这种观点的鼓吹者并不是回避技术，而是极力避免过分依赖技术。就拿种植粮食作物来说，他们完全靠施混合肥料或天然肥料；他们靠风车发电，靠储电器储电；他们利用太阳能板烧热水；等等。其实这种生活方式并非真正他择性，还是离不开各种装置和材料，如电池、轴承、铜管、开关和电灯泡等。这些装置和材料是外界“重要”技术的副产品。要是“重要”技术垮掉了，这些他择性技术也无法长久存在下去：就总体而言，它们只有在技术的保护伞下才能得以生存。虽然如此，这种技术或生活方式还是进一步提醒了人们，现代技术的物质利益并不具有普适的吸引力。越来越多的人表示情愿过简朴的生活，而我们绝不能认为他们对其他任何东西都毫无热情。不少

1470

由受过教育的人组成的社团故意过那种与世隔绝的原始生活。从某种意义上来说，这已不是什么新鲜事。一般来说，过这种生活的以往是宗教阶层，现在大寺院和修道院里还继续存在。最终出现的那些社团，他们似乎——而且也常常宣称——不光是受虔诚信仰影响，而且是因对技术产生反感情绪才结成一体的。即使如此，我们在看问题时一定要小心谨慎：事实上，这种反感情绪与其说是针对技术，不如说是针对错综复杂的现代文明。当然，现代文明是包含技术在内的一个整体。一个多世纪以前，马修·阿诺德（Matthew Arnold）在诗中写到生活时，就曾发出这样的感叹：

1471

现代生活病魔怪诞，
充满着它的疯癫忙乱、东奔西窜，
流行着它的头昏脑涨、心慌意乱。

技术创造的物质利益对促进人类的普遍之爱并未产生多大作用，虽然这种情况早就是社会改革家们追求的目标。曾有人提出其主要障碍是贫困，并猜想如果贫困被消除了，社会就会出现一种能使人的创造才能和协作精神得到充分发挥的环境。不幸的是，后来的社会事实非常明确地证明，这种环境并没有产生。在许多工业化国家，一个世纪前出现过的那种贫困，现在几乎不存在了。然而社会工作者们非常清楚地知道，情况根本就未到让人有理由扬扬自得的地步。好在人类本性的基本方面，仍然一如既往地显得很有活力。两次世界大战——其中第二次世界大战主要靠技术优势决定战局——如同一座火山不断爆发所造成的破坏一样严重。建立在专制和压迫基础上的许多政府，还继续统治着世界上的人口。我们的许多大城市虽说是技术进步的大本营，但暴力犯罪还只是勉强得到控制，而且很多地区的居民夜幕降临后无法在街上安全行走。国际航班业务的中断，往往不是出于技术

事故，更多的是由于缺乏严密的安全保障。政治目的不是靠民主方法获得的，而是寻求以强凌弱的手段或通过少数派的暴乱来加以实现的。宗教信仰通过人们对来世的忧虑，曾维护了行为准则，但现在其影响却每况愈下——这种情况的产生，至少部分是由于教义在许多人看来跟我们的新文明赖以建立起来的科学不相容的缘故。

当然，以上所说的恰似一枚硬币的丑陋反面，而它还有更明亮的正面。对很多人来说，今天的生活不仅比几代前更舒适，而且更能显示自己的地位和自尊。虽然如此，上述阴暗破坏性影响的盛行足以证明科学技术并没提供所期望的拯救手段。诚然，有人主张靠创造财富的事实来突出物质占有的重要意义，技术促使精神价值腐败。这种见解固然有些道理，而且很少有人否认，但要将其量化却是不可能的。或许科学和宗教之间的冲突所反映的比实际状况更明显。但毕竟科学探讨的是阐明宇宙的机理，技术关注的是将这种认识用于实践。宗教信仰本来属于个人的、内心的、精神的活动。单凭现有的认识，要削弱或加强宗教信仰是没有充足理由的。这个责任在很大程度上也许应由世界上的各个宗教组织来承担，它们至今仍向人们灌输已受到事实批驳的教理和教义。然而我们得有耐心，要把争论的问题继续引向深入，并且还必须承认教会同许多现存机构一样，有着自己的组织问题。科学技术的崛起和宗教信仰的衰落，两者不一定存在因果关系。

1472

贸然断言科学技术的基础不同于宗教的基础，当然并不意味着它们是人类生活互不相干的要素，其实这几乎不大可能，因为两者都一直是影响我们现有文明的最强有力因素。有时它们互相补充加强，例如在很多次宗教战争中，军事技术就是作为一种手段支援了宗教；另外有些时候，它们又处于对立的地位。两者都以不同的方式关怀人类生命的改进，而且具有讽刺意味的是，这恰巧又成了一个冲突的领域。实际上，一切宗教都与人类生命的神圣性有关。严格地说，这种关怀从摇篮到墓地。另一方面，技术对生和死也始终产生着巨大影响。胎

儿和婴儿的死亡率大大降低了，人的预期寿命也明显延长了。导致这一结果的重要因素无须在这里详细探讨，因为本书前面的若干章节都已含蓄地提及。例如，将磺胺及抗生素用来直接控制传染病，用新式农药间接控制像蚊子、虱子和苍蝇等带菌的昆虫，还有采取净化饮水、处置垃圾及污水等主要措施来保障大众健康，等等。另外，人们选育优良的动植物品种，利用人造肥料和新耕作法来提高作物的产量。人们对营养认识的提高也是起作用的因素。上述各个领域的技术进步所产生的全部影响，不仅使世界人口大大增加（在最不发达的国家人口增加最突出），而且使人口的年龄模式也发生了改变。随之出现了大量的实际问题和道德问题。在节育中无保留地使用了技术设备——推行这种强制性政策在道德上是正当的吗？应不应该允许将安乐死不仅用于那些饱受不治之症痛苦折磨的人，也用于那些由于医疗科学的进步高寿后又患一般老年性疾病的人？1952年，希尔（A. V. Hill）在向英国科学促进会发表演说时，曾扼要地谈到过这种进退两难的处境。他说：

1473

征服疾病使世界人口大为增加。所造成的结果可能是饥饿，也可能是动荡不安，甚至是文明的毁灭。如果道德准则不允许我们做坏事，那就会出现好事。而当可以预见到的后果不好时，那么是否还能认为我们是在做好事呢？善与恶的力量不是靠科学家来决定的，而是要靠社会公众的道德来裁决。

对于有明确的宗教信仰、追求生命绝对圣洁的人而言，他们甚至在出生之前就已经作出了朴实的回答。这就是：不管后果如何，生命一定得维持下去。据统计，即使是大多数注定要一辈子过疾病缠身、忍饥挨饿、烦恼无尽、挫折不断生活的新生婴儿也必须遵守这一观念。而对那些目光不甚敏锐，或根据这一观点头脑不甚偏执——又认真关

心其同胞福利的人来说，问题就要复杂得多了。如果只涉及技术因素，那么所能生产的食品、衣着、住所和能源，其数量之大，内容之丰富，不仅能满足现今世界人口的需要，而且再多的人口也能满足。但是，当代世界出现了许多不可避免的政治、经济和社会问题，这就使像公平分配这类事情多多少少要寄希望于遥远的未来了。有些积极奉行平等原则的政权，当革命的尘埃落定时，却按照新的等级规则又一次恢复了对物质利益的不公正分配。同时，我们还必须继续在现在这个世界上，而不是在我们所向往的那个世界上生活下去。在现实基础上评价技术所带来的利益并不是过分要求，因为我们已经发现，基本甚至丰富的生活用品的供应，绝不是人类幸福所必需的唯一组成部分。因此，让我们从 20 世纪烦乱的生活中提取技术这一主线，进一步探索其在食品、衣着、住所和能源等方面的进步中所展示的内容。

58.1 食品

食品工业有两大任务：一是肉食和蔬菜的生产，二是肉食和蔬菜供消费的加工。20 世纪上半叶可以说是肉食和蔬菜在生产加工业务方面最活跃的时期。通过采取多方面的措施，尤其通过选择育种，培养了许多高产的动植物品种，使产量不断增加。机械化也取得了巨大进步。20 世纪初期，牵引动力的唯一来源实际上还是靠牛拉马驮；然而到 20 世纪中叶，除了一些不发达国家外，拖拉机和多种农业收获机械的使用占了绝大优势。虽然内燃机是这些工具的关键装置，并且最终几乎用于所有的辅助运输工具，但电力工业的发展提供了重要的替代能源，挤奶车间便是一例。灌溉计划以及像须得海（Zuider Zee）这样的大面积围垦土地计划的实施，为农业耕种开辟了广阔的新领域。诚然，由于土壤侵蚀，主要由于管理失误和无知，也有大片良田荒芜了；但接近 20 世纪 50 年代时，人们采取了多种控制措施。当然，与此同时，使用传统的治理土地的方法、将运输工具加以改进，

也使全世界新开垦的土地得到了有效利用。化学工业也作出了重大贡献。哈伯-博施（Haber-Bosch）工艺使人造氮肥的充分使用成为可能。后来，多种人造杀虫剂的发明使许多破坏性极大的害虫控制成为可能，其中包括除草剂和许多新发明的杀菌剂的使用。伴随着应用上述杀虫剂、杀菌剂所产生的一些后果，在公众中引起了强烈反应——这个问题主要发生在20世纪50年代以后，距今已有很长时间。虽然早期使用的某些化学杀菌剂和杀虫剂，无疑是令人不满意的，但是这些药剂却有力地显示了化学制品的潜在价值，并为研制危害小、副作用小的杀虫剂和杀菌剂指明了方向。例如，我们不能忽视这样一个事实，据1971年的估计，世界上生活在疟疾流行区域的人约有18亿。后来其中3/4的人所在的地区，这种疾病实际上被根除了（*World Health Chronicle*，**25**，498，1971）。由于开展了灭蚊运动，几千万人的生命得到挽救，还有几千万人摆脱了长期的痼疾折磨。

储粮备荒一直是为人们极其重视的一个问题。然而，这一问题在20世纪由于生产模式的改变而日趋突出。大规模的新兴产地往往离需求地有成千上万里之遥。食品加工技术的发展使这种新模式得以巩固和发展，特别是罐头加工、冷藏及干化处理取得了很大进步。食品预制在很大程度上从家庭或当地面包房转移到了工厂，这种工厂供应范围很大——有时供应到世界各地。食品加工技术不仅只是一个保鲜问题，还包括维护公众健康的一系列重要准则。其中重点之一就是通过牛奶消毒来控制结核病的发生。食品掺假是极其有害的——通常是愚昧无知的结果，也出于肆无忌惮的贪婪——这种现象也得到控制。还由于超级市场不断发展，产生了因开架销售用手触摸而发生的疾病传染的危险，这也给食品包装技术及销售方法带来了一场革命。

1475

总的说来，新的食品加工技术极大地帮助了许多家庭主妇，也改善了她们的家庭饮食，特别是在人们了解了营养要素后，更关注维生素和其他一些附加食物成分的摄入。食物的安全性、质量的可靠性和

食用加工的方便性都很重要，而且后者越来越重要，因为第一次世界大战后国内劳动力越来越少。长途运输使得有更多品种的食物供应给顾客，而且延长了通常是季节性产品的供应时段。

然而并非人人都对这种进步感到满意。例如，当某种外来产品整年都有货上市时，原来由于这种产品短暂季节性上市所带来的欢乐就消失了。此外，这种产品一年四季都能供应，即使非时令价格可能比正常价格高出数倍，人们也乐意买回去尝尝鲜。例如，在英国隆冬时节，极其无味的进口西红柿销售得很快，其价格要比当地夏季产的鲜美产品高出 5 倍以上。这样的价格变化反映到生活费用指数中，从而推动了工资的增长，经济得以发展。方便食品确实给人们提供了便利，节省了烹调中的大量劳动。但如果付诸自由表决，则很少会有人选择用方便食品来取代用传统方法精心制作的美味佳肴。很少见到食品工业、饮食业的巨头们会在公司里吃罐装食品或塑料袋装食品。

58.2 衣着

对于我们所论述的这一时代来说，衣着的基本原料同早期一样来自于农业。纺织工业所需的纤维几乎仍然全部依赖于动物或植物：毛、丝、棉及具有粗纤维的亚麻。皮革仍然是鞋子的传统原料，也是手套、皮带等许多类似产品的传统原料。人造纤维起步较晚，始于 20 世纪 20 年代的人造丝。人造丝也只是从木材衍生而来的半合成材料；纯粹的合成产品，像众所周知的尼龙及涤纶，都是第二次世界大战之后才真正流行起来的。即使在我们所论述的这个时期的最末期，化工界也未能预料到合成纤维能获得如此迅速的发展。20 世纪 50 年代初，制造商们仍然为纺织业需用大量天然材料忧心忡忡。那时他们主张去补充天然纤维，而不是取代天然纤维。因此，直到 20 世纪中叶，人造纤维对人们生活的影响仍然很小，只是在女长筒袜方面有所发展。将尼龙用于长筒袜生产，也只是在第二次世界大战即将爆发时

1476

才开始的。早期制成的纤维就某些基本性质来说，也不是令人十分满意的，如易起皱、手感不佳；最早的以纯尼龙纤维为原料的衬衣吸水性很差，穿上后让人感到很不舒服。然而化工业得益于与之长期合作的纺织业，改进推动得非常迅速；很快，一些令人非常满意的产品相继问世。这些产品通常是天然纤维与人造纤维混纺而成的。就人们日常生活而言，这些材料的最大优点也许在于节省了劳力。用这种纤维制成的衣物能随洗快干，无须熨烫就能保持挺括。在国内劳力日趋紧张、昂贵时，其优点便凸显出来。一些常换洗衣物，如长袜、衬衣、短衫等，人们夜间洗了，次日早晨就可以穿了。用这些新材料制成的男式西服，甚至也可以用水洗代替干洗。所有这些既方便又经济，人们再也不需要以往那么多的衣物了，或者说人们可以用省下来的钱购置其他物品了。

服装制造业不但拥有较好的新材料，而且本身也经历了一次巨大的变革。诚然，长期以来人们可以购买到成品服装，但成品服装并不属于那些高质量的产品。例如，男式西服和女式长袍通常是由专门定做衣服的裁缝来度身制作的。这些裁缝只为极少数能付得起报酬的人服务。然而到 20 世纪前半期，特别是第一次世界大战以后，成品服装制造业逐步打进了定制服装这一领域。部分原因在于劳动力成本，部分原因在于原材料及加工质量的提高，而且对人体各部位尺寸进行了更系统的调查统计。对一般人来说，付费较少而能穿上较好的衣服，当然是可以接受的。相对来说，专门为人定做服装的生意萧条起来。它们也同许多其他行业一样，由小型加工业逐渐转向工厂化的大生产。 1477

58.3 住所

在此，我们应讨论一下人的第三个基本需要，即住所问题。这个概念应比家庭住房包含更广泛的内容。事实上，正如前面有关章节已论述的那样，20 世纪前半叶，建筑材料及建筑方法发生了极其巨大

的变化，但它们对人们日常生活的直接影响并不是太大。大多数人仍居住在传统式样的房屋里，或者说，越来越多的人住在设计规范的一套套房子中，而且基本的家具设备几乎没有什么变化。技术对于生活质量的影响更多地体现在生活舒适上，而不是人们的基本需求方面。气灯的发明是对蜡烛和煤油灯的一场革命。但到了20世纪20年代，它几乎就被电灯所取代了。然而，煤气同电仍在竞争，因为两者在保洁及方便程度上都比煤和柴火要强得多。用于清洗及淋浴的热水供应已十分普遍，厨房的重要用具——炊具也有了巨大改进。讲究室内卫生，虽然在相当长的时间内是当地法律所要求的，如英国就是这样，但现在已成为人人奉行的准则。人们还强调户外住宿的卫生条件。各种设施——真空吸尘器、洗衣机、冷藏柜等的运用使得家务劳动变得容易了。当然，20世纪50年代的家庭生活要舒适得多。

但是，一个人也许房子住得比较舒适了，但对其周围环境并不那么理想。这是真的，如大城市交通运输的改进可能容许某人住到郊外舒适的住宅里，并像旅游似的去上班。但即使那样，他也会很快厌烦由郊区到市区沿路发展失控的一系列建筑。然而在工业区内，许多工人仍然居住在厂区简陋的工棚中。城市规划正刚刚起步。由于20世纪的进步和发展，像花园一样的城市形式及严格控制其规模的方案对人们有所启迪，他们开始作出一些改进。然而，改进的进程是缓慢的。在许多城区，人们有可能住进相当舒适的房屋，但周围环境却几乎没什么改进。对于市郊居民来说，虽然汽车给他们提供了许多便利，但其生活方式变化甚少。交通工具使他们不仅能较多地参加本地的社交活动，还能自由地去欣赏大都市生活的乐趣，而且有可能在都市找到工作。当然，在某种程度上，新的流动性也增进了都市化的发展。反之，对于在市郊工作的人来说，他们住在城里，每天到郊区去上班，这点也逐步成为可能。

1478

直到第二次世界大战爆发的那些年代，能在都市生活中享受到的主

要娱乐要数电影了。电影为广大群众提供了全新的娱乐消遣形式，既便宜又令人愉快；除供娱乐消遣外，还有不少主题严肃的影片尝试着把电影变成一种新的艺术形式。与此同时，人们的娱乐消遣形式又有了新发展，人们可以坐在家中欣赏了。开始是收音机，在我们所论述的这个阶段的后期，就是电视了。当然，还应加进电唱机。电唱机也是新型的电子工业基础的重要部分。毫无疑问，这些新的娱乐形式使人们的整个生活都发生了变化。不仅是娱乐，还是某种程度的普及教育。这些东西对人们究竟有多少益处，一直是人们广为争辩的问题。无法统一看法的争论焦点是：在娱乐的借口下不停播放色情、暴力方面的内容，是我们这个社会某些弊病的根源。另一些人则指出，电视的优点还在于它能让家庭成员在家里团聚，而且对补充从小学到大学的教育也起到了十分可贵的作用。我们还不应忘记，这些新的娱乐形式也是对老年人、孤独者及病人的一种慰藉。许多争论是最近（指 20 世纪 70 年代）冒出来的：到 1950 年，大多数人还一味认为刚刚开始普及的电影、收音机及电视都是令人十分愉快的，并且没什么危害，因为它们正好应对了当时因工作日的减少而带来的如何度过空闲时间的新问题。

58.4 交通

我们在论述城乡之间关系的变化中，已简要地提到交通这一问题。广义地说，汽车的出现为人们提供了过去从未有过的快捷及舒适，对人类生活产生了深远的影响。但是，我们必须再次记住，汽车对社会的冲击直到我们论述的这个阶段的后半期才愈演愈烈。特别是在欧洲，直到第二次世界大战后才出现这样的问题。对于许多人来说，这种新发现有旅行方面的便捷，似乎是技术赋予人们生活的最大便利之一。然而可叹的是，战后许多决策者却不是这样考虑的。他们企图去限制这种自由——当然这种自由不可否认地会造成许多实际问题——而不是去适应这种自由。不论他们的想法是如何不切合实际，他们仍

然一意孤行，企图让旅客重新回到使用公共交通工具的年代。但是后来，由于票价昂贵、服务欠佳、缺乏舒适感以及对市中心的影响等原因，这种政策发生了逆转。

至于大众关注的公共交通，在这段时期中，铁路运输业的发展保持着一种或多或少的静止状态。当然，铁路运输也有一些重要的技术进展，如增加电力或使用柴油动力，改进铁道车辆，运用更好、更安全的交通指挥系统等。然而，对于普通旅客来说，1950 年与 1900 年相比，从伦敦到爱丁堡的旅程并没有什么显著的变化。海上交通情况与铁路差不多，只是轮船更大了，速度更快了，更加舒适了。在乘客们看来，第一次世界大战前横渡大西洋的旅行同第二次世界大战后的旅行并无多大区别，海上交通的进展可想而知。

诚然，航空业发生了真正的革命，因为航空适于各种目的，20 世纪时就是如此。第一次世界大战中，为了适应军事需要而促进了飞机制造业的巨大发展，这一点为 20 世纪 20 年代商务飞行的发展铺平了道路。20 世纪 30 年代就形成了全球性的航空网络，但当时乘客相当少。这是由于飞机小、航行范围受到限制而造成的。第二次世界大战对航空业的发展提供了更强大的动力，不仅是对飞机的发展，而且也对导航手段的发展起到了巨大作用。只有在航空业大大发展后，飞机才成为大家公认的旅游度假的新型交通工具。但就个人交通工具而言，直到 1950 年以后，乘飞机航行才对人们的生活质量产生了重要影响。然而，在此之前很长一段时间里，航空事业就已带来了许多间接的益处。特别是航空邮件服务改变了洲际之间邮件的传递速度。当然，国际电报及后来的国际电话比航空邮件服务历史更长，但价格大多很贵，只能适合传递简短的、重要的信息。当航空邮政服务发展后，很长的私人信件就可以发给世界各地很远处的亲朋好友了；而过去则要通过海运，耗时几周甚至几个月才能到达。

要就有关技术进步对日常生活方方面面的影响所进行的调查研究

进行总结，我们必须考虑两个方面的问题：一是环境，二是能源。这两点在我们所论述的这段时期终了时都未引起公众的注意；直到最近（指 20 世纪 70 年代），才真正得到人们的深切关注。

58.5 环境

1480

正是由于工业本身的特点，才产生出大量废物，其中有许多是有害物质，因而带来了严峻的废物处理问题，这并不是 20 世纪特有的现象。然而，必须注意到这不单是工业问题，还涉及各家各户，累积起来就造成了可怕的结果。例如，在控制烟雾条例实施以前，是伦敦各家各户的烟囱而非工厂的烟囱，产生了弥漫在伦敦上空的令人窒息的烟雾，使得伦敦像其他许多城市一样，成了一个可怕的地方。江河及沿海海岸的污染是由于污水处理不当，以及大量工业排放物的缘故。参观任何一个风景区，都可以看到，市民们对如何丢弃手中的废物是完全不经意的。无论如何，这可能不会比工业污染更严重。工业生产过程中确实产生了对人极其有害的废物，而且工厂并不总是为其排放物负责。一些浩瀚的江河——其中莱茵河可能是众多江河中最著名的一条——就如同露天的下水道一样，许多原有的植物和动物都不复存在了。由于油船无视国际法规，流出大量污油而使海滨无一幸免，数以千计的海鸟因此而死去。野生动物也由于滥用的化学物质而遭不测。供电公司的铁塔跨线影响了农村美丽的田园秀色。乏味的建筑设计不能令人赏心悦目。但是，所有这一切确实只是一幅颇为壮观的图案的阴暗面。一般来说，工业界对待污染问题还是非常认真、严肃的。这同平常的道德问题还不尽相同。首先，许多废物还是可以重新利用的，值得在丢弃前进行一番处理。其次，英国 1863 年的《碱法》（*Alkali Act*）生效后，大多数国家已有了相当可观的强制性立法，违反者是要受到严惩的。再者，工业界对公众舆论也比以往要敏感得多。

有一些责任在消费者这一面。一般来说，消费者并不准备为改善

环境花费更多的钱财。电力工业就是一个恰当的例子：地下输送电本来是可以行得通的，但根据当时可行的技术，实施后的电费价格用户难以接受——甚至对环境保护主义者来说，也是不能接受的。

在20世纪的前50年内，一种极端放任自流的态度占主导地位。不容置疑，由于这种态度而使环境污染问题变得难以控制，因此现在应倍加小心。可是当前又从一个极端走向另一个极端——有关环境方面的危言耸听使当今理应关注的其他问题都黯然失色——然而，至少公众对此问题已变得相当警觉，因而触犯者一直处于守势。

1481

58.6 能源

工业和现代化的生活都离不开能源。的确，每个人的能量消耗是一种已被认可的工业活动指数。从20世纪的前50年中已看到全世界能源的显著变化。为了保持工业发展和家庭的消费，总的能源需求量急剧上升。矿物燃料中，煤的世界产量直到1925年都是持续稳定上升的，而1925年后就大体不变了：全世界（不包括苏联）煤的产量1928年是12亿吨左右，到1946年大约是11亿吨。而另一种主要的矿物燃料——石油的产量则急剧增长。相对而言，开始产量较小；到20世纪中期，全世界的总产量达到了50亿桶（一桶为42美式加仑）。这主要是由于内燃机不断增长的需要，其中包括汽车、飞机、船只以及铁路机车的需要。天然气通常与石油有关，理当视为一种矿物燃料。从19世纪后期起，天然气在美国使用得相当广泛；而欧洲是第二次世界大战之后，才开始大规模采用的。

当然，从矿物燃料中可直接获得的能量形式无疑是热能了。但热能经常还必须转换为其他有用的能量形式，且转换中有相当多的损耗。对内燃机及蒸汽机来说，是把热能转换为机械能；发电站则是将热能变成电能。许多电能是转换成用于发动机的机械能，用来驱动机车、开动工厂机器以及用于家庭设施等。更多的电能被转换成光能。这种

方式效率极低，直到日光灯（荧光）管发明后才有所提高。多少年来水力资源曾一直是笨重的机械驱动力，在20世纪全世界许多地方的水电系统中得到了新的、高效的应用。最后，在我们所论述的这一时期的终了阶段，产生了一种全新的能源形式，即蕴藏在原子中的能量，它逐渐被人们所掌握、利用。

1482

若没有足够的能量供应，工业就不能正常运转，从而表明现代化生活的整体质量是受到技术影响的，并以不同的形式取决于能源工业。与此同时，这并不会直接进入个人的意识。例如，某人打开电器开关，无论供给的电能是由煤产生的，还是由治理河流而产生的，或是由原于核裂变而产生的，这都没有多大差别。同样，煤气消费者也不管自己所使用的煤气是由煤的焦化而产生的，或是从石油中产生的，还是从辽阔的天然气资源而得到的，只要能获得同样的结果就行。对于绝大多数横渡大西洋的旅客来说，他们既不知道，也不会去关心自己所乘坐船只的发动机是烧煤还是烧油的。

到20世纪中叶，事实上也并没什么特殊的理由冀求普通公民去过多地考虑上述问题，因为能源仍像人们所想象的那样，价格便宜，蕴藏量极为丰富。虽然人们对矿物燃料最终会被耗尽这一点是有自知之明的，但由于新的资源不断被发现，开采速度又不比当前的消耗速度慢，这就使人们恢复了信心。江河总会继续奔流，太阳仍会照耀大地。任何实际问题，肯定会摆在子孙后代面前——让他们去忧虑吧！就是出于反对这种情况，我们必须指责20世纪早年所形成的对能源的挥霍滥用现象，特别应该指出的是资源丰富的美国，以及跟在后面的其他一些西方国家。这些国家挥霍能源不如美国厉害，倒不是因为他们谨慎小心，而是因为其资源有限。20世纪前50年的技术进展给我们留下的、使人感到窘迫的两项遗产，是环境问题和是否能保持足够的能源供给问题。后者迫在眉睫，亟待解决。而且，在20世纪及20世纪后若干年里，定会使技术家乃至政治家们绞尽脑汁。



第Ⅶ卷人名索引

以下数字为原著页码，本书边码

Abbe, E. 阿贝，1216，1354

Abercrombie, P. 阿伯克龙比，968

Accum, F. 阿库姆，1402

Acheson, E.G. 艾奇逊，1042

Aiken, H. H. 艾肯，1154，1184，1187，1189，1195

Akers, E. 埃克斯，1324

Albert I 阿尔伯特一世，摩纳哥亲王，1447，1448

Alcock, J. 阿尔科克，806，1218

Alexanderson, E. F. W. 亚历山德森，1235

Andrade, E. N. da C. 安德雷德，984

Androuin, J. 安德鲁安，1052

Anschütz, O. 安许茨，1285

Anschütz-Kaempfe, H. 安许茨-肯普费，842

Appert, N. 阿佩尔，1399，1421

Arden, E. 阿登，1389，1391

Armstrong, E. H. 阿姆斯特朗，E. H.，1091，1097—1098，1237

Armstrong, N. A. 阿姆斯特朗，N. A.，857

Arnemann, J. 阿尔曼，1317，1318

Arnold, M. 阿诺德，1470

Atherton, J. B. 阿瑟顿，1074

Auer, J. 奥尔，1334

Ayrton, W. E. 艾尔顿，1257

Baatz, G. 巴茨，810

Babbage, C. 巴比奇，C.，1151—1154，1159，1173—1179，1183，1184，1192，1194，1196

Babbage, H. P. 巴比奇，H. P.，1176—1177

Backus, J. 巴克斯，1200

Bailey, R. W.	贝利，985
Bain, A	贝恩，1213
Baird, J. L.	贝尔德，1259—1260
Baker, J. C.	贝克，J. C.，1434
Baker, M. N.	贝克，M. N.，1377
Bakewell, F. C.	贝克韦尔，1257
Balchen, B.	巴尔肯，806
Baldwin, F. S.	鲍德温，1164
Balzer, S. M.	鲍尔泽，1009
Barclay, R.	巴克利，1269
Bardeen, J.	巴丁，1118
Barnack, O.	巴纳克，1288
Barnes, D. E.	巴恩斯，1332
Barnwell, F.	巴恩韦尔，794
Barron, S. L.	巴伦，1341
Basch, S. S. K. R. von	巴施，1344
Baumann, K.	鲍曼，1030
Baylis, J. R.	贝利斯，1375
Bazalgette, J. W.	巴泽尔杰特，1383，1386
Beacham, T. E.	比彻姆，1061
Béchereau, L.	贝舍罗，794，808
Beck, C.	贝克，1356
Bedford, L. H.	贝德福德，1105，1261
Beecher, C.	比彻，1135
Belevitch, V.	别列维奇，1112
Bell, A. G.	贝尔，952，1220—1223
Bennett, C. E.	贝内特，C. E.，1077
Bennett, F.	贝内特，F.，806
Berek, M.	拜赖克，1289
Berger, H.	伯杰，1358
Berliner, E.	伯利纳，1262
Bertsch, A.	伯奇，1289
Besserdich, W.	贝瑟迪什，726
Betz, A.	贝茨，793
Bidwell, S.	比德韦尔，1257

Bier, A. 比尔，1336
Biggs, J. B. 比格斯，1346
Bilham, E. G. 比尔海姆，1386
Birdseye, C. 伯宰，1423
Birkigt, M. 伯基特，1012
Bishop, R. E. 毕晓普，828
Black， H. S. 布莱克，1240
Blanc, M. 勃朗，808
Blériot, L. 布莱里奥，699，791，808，1469
Blondel, A. 布隆代尔，1243，1244
Blumlein, A. D. 布卢姆莱因，1263
Boelcke, O. 伯尔克，794
Boggs, M. S. 博格斯，817
Bollée, L. 博莱，1166，1188，1189
Bolton, J. 博尔顿，1390
Bong, R. 邦格，813
Boole, G. 布尔，1192
Boot, H. A. 布特，1107
Booth, A. D. 布思，A. D.，1195，1202
Booth, H. C. 布思，H. C.，1129
Bosch, C. 博施，1210
Bothezat, G. de 德博特扎，822
Bowen Cooke, C. J. 鲍恩 . 库克，762，763
Bowles, R. C. M. 鲍尔斯，1347
Boyd, T. A. 博伊德，989
Boyle, C. P. 博伊尔，C. P.，869
Boyle, H. E. G. 博伊尔，H. E. G.，1334，1335
Braithwaite, J. 布雷思韦特，985
Bramah, J. 布拉默，1127
Brambilla, G. A. 布兰比拉，1317
Branly, E. 布朗利，1232，1233
Brattain, W. H. 布拉顿，1118
Braun, F. 布劳恩，F.，1106
Braun, W. von 布劳恩，W.von，816，863
Breguet brothers 布雷盖兄弟，792，821，822

Brennan, L. 布伦南，822

Bridge, E. 布里奇，904

Briggs, H. 布里格斯，1153

Brockway, F. J. 布罗克韦，1321

Broglie, L. de 德布罗意，1216

Brown, A. W. 布朗，A. W.，806

Brown, C. 布朗，C.，1071

Brown, J. R. 布朗，J. R.，1041

Brunel, I. K. 布鲁内尔，887，888，898

Bullard, E. P.，jun. 布拉德，1036

Bunch, C. C. 邦奇，1349

Burnham, D. H. 伯纳姆，930

Burroughs, W. S. 伯勒斯，1168

Burton, E. F. 伯顿，825

Buseman, A. 布泽曼，828—829

Bush, V. 布什，1154

Byrd, R. E. 伯德，806

Byron, Lord 拜伦，1178

Cadbury, G. 卡德伯里，G.，962

Cadbury, R. 卡德伯里，R.，962

Callender, W. 卡伦德，W.，1073

Callender, W. O. 卡伦德，W. O.，1073

Cameron, D. 卡梅伦，1394

Camm, Sir S. 卡姆，812，834

Camman, G. 卡曼，1347

Campbell, G. A. 坎贝尔，G. A.，1114

Campbell, J. R. 坎贝尔，J. R.，1401

Cannon, W. 坎农，1328

Carey, G. 凯里，1257

Carnot, S. 卡诺，1003

Carrel, A. 卡雷尔，1354

Carson, J. A. 卡森，1115

Case, T. W. 凯斯，1312

Cauer, W. 考厄，1114

Cayley, Sir G.	凯利，789
Chadwick, R.	查德威克，814
Chaffee, R.	查菲，857
Chain, E. D.	钱恩，1355
Chapelon, A.	沙普隆，766
Charlton, E. E.	查尔顿，1332
Cheshire, E.	切希尔，1277
Churchill, C.	丘吉尔，1050
Churchward, G. J.	丘奇沃德，763，764，765，774
Cierva, J. de la	谢尔瓦，822
Citroen, A.	雪铁龙，718
Clarke, A. C.	克拉克，869
Clover, J. T.	克洛弗，1337
Cockrell, Sir C.	科克雷尔，744
Cohn, A. S.	科恩，1341
Coler, E. G.	科克尔，992
Colmar, C. X. T. de	科尔马，1153，1163，1173
Colvin, F. H.	科尔文，1049
Columbus, C.	哥伦布，869
Comrie, L. J.	科姆里，1154
Congreve, W.	康格里夫，859
Constantinesco, G.	康斯坦丁内斯科，988，1063
Cook, H. W.	库克，H. W.，1346
Cook, J.	库克，J.，1446
Coolidge, W. D.	库利吉，1082，1331
Cord, E. L.	科德，719
Cornu, P.	科尔尼，821
Cournaud, A.	库尔诺，1357
Cox, P.	考克斯，1278
Coxhead, R. C.	考克希德，1270
Crocco, G. A.	克罗克，822
Crompton, R. E.	克朗普顿，R. E.，871
Crompton, R. E. B.	克朗普顿，R. E. B.，1132，1133
Crookes, Sir W.	克鲁克斯，1300，1327
Cros, C.	克罗，1262

Cross, H. 克罗斯，945
Cruikshank, G. 克鲁克香克，963
Curie, I. 居里，1333
Curtis, C. G. 柯蒂斯，1025，1028
Curtiss, G. H. 柯蒂斯，791，796，1010，1012
Curutchet, P. 丘鲁切特，1318
Czapski, S. 恰普斯基，1354

Dalby, W. E. 多尔比，762
Dalen, G. 达伦，1139
Dakin, H. D. 达金，1354
Darlington, S. 达林顿，1115
Darrius, G. 达里厄，1033
Darwin, C. 达尔文，C.，1340
Darwin, H. 达尔文，H.，1340
D' Ascanio, C. 达斯卡尼奥，822
Davis, A. 戴维斯，A.，1280
Davis, G. 戴维斯，G.，1340
Davy, Sir H. 戴维，1173
Dawson, Sir P. 道森，771
Dean, L. W. 迪安，1349
Deckel, F. 德克尔，1285
DeLeeuw, A. L. 德莱乌，1038，1050
Demeny, M. G. 德梅尼，1310
Dibdin, W. J. 迪布丁，1388
Diesel, R. 狄塞尔，759，1003，1004，1006，1008，1009
Dijkstra, E. W. 迪日克斯特雷，1200
Disney, W. 迪斯尼，W.，1308
Dobrovolsky, G. T. 多布罗沃尔斯基，857
Dodds, Sir C. 多兹，Sir C.，1406
Dodds, R. 多兹，R.，879
Domagk, G. 多马克，1326，1355
Donkin, B. 唐金，1174，1175
Doolittle, J. H. 杜利特尔，817
Dornberger, W. R. 多恩贝格尔，865

Dornier, C. 道尼尔，810
Douhet, G. 杜黑，811
Dowsing, H. J. 道辛，1133
Dowty, G. 道蒂，1064
Driffield, V. C. 德里菲尔德，1283
Drummond, R. J. 德拉蒙德，1401
Duchosal, P. 迪肖萨尔，1342
Duddell, W. 达德尔，1235
Dufay, L. D. 迪费，1297
Dunmore, F. W. 邓莫尔，818
Dunwoody, H. H. C. 邓伍迪，1236
Durand, W. F. 杜兰德，1021
Durant, F. C. 杜兰特，863，869
Durr, L. 杜尔，799
Dye, W. D. 戴伊，1213

Eastman, G. P. 伊斯门，1328
Eccles, W. H. 埃克尔斯，1188
Eck, B. 埃克，1134
Eckener, H. 埃克纳，799
Eckert, J. P. 埃克特，1188，1190，1200
Edison, T. A. 爱迪生，1092，1222，1223，1262，1309，1310，1312
Edward VII 爱德华七世，1129
Edwards, G. 爱德华兹，828
Ehrlich, P. 埃利希，1326
Einhorn, A. 艾因霍恩，1336
Einstein, S. 爱因斯坦，1038
Einthoven, W. 艾因特霍芬，1340
Eisenhower, D. D. 艾森豪威尔，917，1201
Elizabeth II 伊丽莎白二世，905，917
Ellis, E. B. 埃利斯，1356
Elmen, G. W. 埃尔门，1123
Elmer, P. 埃尔默，1207
Elsberg, C. 埃尔斯贝格，1334
Elster, J. 埃尔斯特，1092，1105

Emanueli, L.	埃马努埃利，1076
Emme, E. M.	埃姆，865
Emmert, H. D.	埃默特，1033
England, W.	英格兰，1285
Essen, L.	埃森，1213
Fabre, H.	法布雷，816
Fageol, F.	法乔尔，F.，728，729
Fageol, W.	法乔尔，W.，728，729
Faraday, M.	法拉第，991
Farman, H.	法尔芒，792
Farr, W.	法尔，1174
Felt, D. E.	费尔特，1168
Ferber, F.	费伯，792
Ferguson, H.	弗格森，1065
Fessenden, R. A.	费森登，1236，1237，1239
Fick, A.	菲克，1321
Finlay, C. L.	芬利，1297
Finsen, N.	芬森，1329，1330
Fischer, G.	费歇尔，G.，1054
Fischer, R.	费歇尔，R.，1297
Fisher, J. W.	费雪，1346
Fleming, J. A.	弗莱明，1093
Fletcher, H.	弗莱彻，1349
Florey, H. W.	弗洛里，1355
Focke, H. K. J.	福克，823
Fokker, A. H. G.	福克，808
Folland, H. P.	福兰德，794
Fonck, R.	方克，795
Ford, H.	福特，715，986，1042，1056，1057
Forest, L. de	德福雷斯特，1091，1095
Forrester, J. W.	福里斯特，1195，1197
Forshaw, J. H.	福肖，968
Forssman, W.	福斯曼，1357
Fossier, A. E.	福西耶，1319

Fowler, E. P. 福勒，E. P.，1349
Fowler 福勒，G.，1389
Fox, W. 福克斯，1312，1313
Frankland, E. 弗兰克兰，1388
Franklin, B. 富兰克林，B.，1127
Franklin, C. S. 富兰克林，C. S.，1244
Frederick, C. 弗雷德里克，1135
Freyssinet, E. 弗雷西内，879，892，936
Friedman, B. 弗里德曼，1142
Fuchs, W. C. 富克斯，1331

Gagarin, Y. A. 加加林，832，857，865
Gamble, W. 甘布尔，1280
Gans, R. 甘斯，1380
Garros, R. 加罗斯，794
Gauchet, P. 戈谢，808
Gaumont, L. 戈蒙，1310
Gauthier, A. 戈捷，1285
Geddes, P. 格迪斯，962
Geitel, H. 盖特尔，1092，1105
George V 乔治五世，905，922
Giedion, S. 吉迪恩，1128
Gigli, L. 吉利，1358
Gilbreth, F. 吉尔布雷思，1056
Glasser, O. 格拉瑟，1321
Glazebrook, R. T. 格莱兹布鲁克，1214
Glehn, A. de 德格伦，762，763，766
Goddard, E. C. 戈达德，E. C.，862
Goddard, R. H. 戈达德，R. H.，857，859，861，862，863，865
Godowsky, L. 戈多夫斯基，1297
Goerz, C. P. 格茨，1284，1285
Goldstine, H. H. 戈德斯坦，1190
Gölsdorf, K. 格尔斯多夫，762
Goupy, A. 古皮，792
Goward, F. K. 高厄德，1332

Gray, E. 格雷，1220—1221
Greenough, H. S. 格里诺，1354
Gresley, Sir N. 格雷斯利，766
Griessman, B. 格里斯曼，1349
Griffin, A. E. 格里芬，A. E.，1378
Griffin, J. 格里芬，J.，1204
Griffith, A. A. 格里菲思，1018，1019
Griffiths, D. W. 格里菲思，1302
Grissom, V. 格里索姆，857
Grondahl, L. O. 格朗达尔，1116
Gruschke, G. 格鲁施克，1349
Guest, J. J. 格斯特，1042
Guggenheim, H. F. 古根海姆，863
Guillemin, E. A. 吉耶曼，1115
Gullstrand, A. 吉尔斯特兰德，1354
Guthrie, F. 古思里，1092
Gwathmey, J. T. 华特迈，1334

Haber, F. L. 哈伯，1210
Hadfield, Sir R. 哈德菲尔德，1081，1123
Hadley, J. 哈德利，837
Haeff, A. V. 黑夫，1195
Haigh, B. P. 黑格，985
Haldane, J. B. S. 霍尔丹，1337
Hales, S. 黑尔斯，1344
Halley, E.，1462 哈雷
Hammond, James 哈蒙德，1270
Handley-Page, F. 汉德利-佩奇，808
Hannyngton, J. 汉宁顿，1153
Hardy, Sir W. 哈迪，1403
Hargrave, L. 哈格雷夫，789
Harington, Sir J. 哈林顿，1127
Harmisch, F. C. 哈米施，1331
Harrison, J. 哈里森，837
Hart, C. A. 哈特，1385

Hartley, R. V. L. 哈特利，1248
Hartmann, E. 哈特曼，812
Hartree, D. 哈特里，1191，1194
Hassall, J. 哈索尔，1131，1132
Haussmann, Baron 豪斯曼，966
Hawthorne, W. R. 霍索恩，992
Haynes, E. 海恩斯，1037
Haywood, W. 海伍德，1386
Hazeltine, L. A. 黑兹尔坦，1101
Heald, J. H. 希尔德，1042，1044
Heaviside, O. 亥维赛，1113，1221，1242，1247
Heim, L. R. 海姆，1042，1044
Heister, L. 海斯特尔，1317
Henderson, V. E. 亨德森，V. E.，1338
Henderson, Y. 亨德森，Y.，1337
Hergt, F. D. 赫格特，808
Herschel, J. 赫歇尔，1151
Hertz, H. R. 赫兹，838，1092，1113，1231，1233，1247
Hevesy, G. 赫维西，1333
Hibbard, H. L. 希巴德，813，825
Hill, A. V. 希尔，1473
Hillier, J. 希利尔，1352
Hilpert, S. 希尔珀特，1123
Hindle, C. F. 欣德尔，1341
Hipp, M. 希普，1213
Hitler, A. 希特勒，863
Hochstadter, M. 霍赫施泰特，1076
Hodgkin, D. 霍奇金，1217
Hoke, Major 霍克，1041
Holdsworth, S. D. 霍尔兹沃思，1414
Hele-Shaw, H. S. 海尔 - 肖，1061
Hollerith, H. 霍尔瑞斯，1179，1180，1181—1182，1200
Holmgren, L. 霍姆格伦，1353
Holst, G. 霍尔斯特，1102
Holtz, F. 霍尔茨，1038

Holwerda, K. 霍尔维达，1378
Homolka, B. 霍穆尔卡，1282
Hopkinson, B. 霍普金森，989
Hopper, G. 霍珀，1157，1199
Houston, Sir A. 休斯敦，1375
Howard, E. 霍华德，962，964，972
Hoxie, C. A. 霍克西，1312
Hufnagel, C. 胡夫纳格尔，1358
Hughes, H. 休斯，722
Hull, A. W. 赫尔，1107
Hurter, F. 赫特，1283
Husband, H. C. 赫斯本德，990
Hutin, M. 于坦，1239
Huth, F. 胡特，808

Iddesleigh, Lord 伊兹利，1388
Imhoff, K. 伊姆霍夫，1394
Inbau, F. E. 英博，1343
Irwin, J. 欧文，868
Isherwood, Sir J. 伊舍伍德，741
Ives, F. E. 艾夫斯，F. E.，1295，1296
Ives, H. 艾夫斯，H.，1259

Jackson, C. 杰克逊，C.，1334
Jackson, H. B. 杰克逊，H. B.，1232，1233，1252
Jacobs, C. B. 雅各布斯，1042
Jacobson, A. C. 雅各布森，1358
James, C. C. 詹姆斯，1394
Jenkins, C. F. 詹金斯，1259
Jewell, W. M. 朱厄尔，1376—1377
Johansen, K. W. 约翰森，946
Johansson, C. E. 约翰逊，1041
Johnson, J. 约翰逊，J.，813
Johnson, J. B. 约翰逊，J. B.，1248
Joliot, F. 约里奥，333

Jones, H. 琼斯，H.，1336

Jones, P. M. 琼斯，P. M.，1329

Jordan, F. W. 乔丹，1188

Julliot, H. 朱里奥，796

Junkers, H. 容克，808

Kartveli, A. 卡特维利，814

Keeler, L. 基勒，1343

Kellerman, K. F. 凯勒曼，1377

Kellogg, W. K. 凯洛格，1333

Kells, C. E. 凯尔斯，1325

Kelvin 开尔文，勋爵，1068，1112

Kendon, A. 肯登，865

Kennedy, T. 肯尼迪，T.，1377

Kerr, W. J. 克尔，1348

Kerst, D. W. 克斯特，1332

Kettering, C. F. 凯特林，719，1001

Kilburn, T. 基尔伯恩，1193，1196

Kingsbury, A. 金斯伯里，988

Kingsford-Smith, C. 金斯福德 - 史密斯，806

Kirchhoff, G. R. 基尔霍夫，1113

Kirkham, C. B. 柯卡姆，1012

Klemm, H. 克莱姆，804

Klic, K. 克利克，1271

Koch, C. 科克，1293

Koenig, E. 凯尼格，1282，1297

Kolff, W. 科尔夫，1359

Komarov, V. 科马罗夫，857

Korotkoff, N. S. 柯洛特柯夫，1345

Kozhedub, I. 科热杜布，813

Kritz, N. 克里茨，1171

Kühn, H. 屈恩，1293

Kuichling, E. 柯伊克林，1385

Laddon, I. M. 拉登，828

Laennec, R. 拉埃内克，1346
Laithwaite, E. R. 莱思韦特，1088
Lampitt, L. H. 兰皮特，1403
Lanchester, F. W. 兰彻斯特，793，952，987
Land, E. H. 兰德，1294
Landsteiner, K. 兰德施泰纳，1356
Langley, S. P. 兰利，789，1009—1010
Langmuir, I. 朗缪尔，1083，1093，1097，1331
Lanston, T. 兰斯顿，1272
Lardner, D. 拉德纳，1159
Larson, J.A. 拉森，1343
Lauritsen, C. C. 劳里森，1332
Lauste, E. 劳斯特，1311，1312
Law, R. R. 劳，1119
Leared, A. 李尔德，1346
Leatham, A. 利瑟姆，1348
Lebaudy brothers 莱鲍迪兄弟，796
Leblanc, M. 勒布朗，1236，1238—1239
Ledwinka, J. 莱德温卡，717
Legendre, A. M. 勒让德，1150
Leibniz, G. 莱布尼兹，1151，1161—1163，1171，1192
Leipmann, W. 雷普曼，1358
Leland, H. M. 利兰，1039
Lely, C. 莱利，907
Lenigre, J. 朗伊热，1342
Levavasseur, L. 勒瓦瓦瑟尔，808
Lewis, Sir T. 刘易斯，1340
Ley, W. 利，863
Liernur, C. 利尔纳，1384
Lilienthal, O. 李林达尔，789
Liljendahl, J. 利延塔尔，1384
Lillienfeld, J. 利连费尔德，1118
Lindbergh, C. A. 林白，806，862
Lippmann, G. 李普曼，1340
Lippisch, A. 利皮施，829

Lister, J. 利斯特，1355
Ljunström, F. 永斯特伦，1030
Lloyd-Davies, D. E. 劳埃德-戴维斯，1385
Lockett, W. T. 洛基特，1389，1391
Lodge, Sir O. 洛奇，1113，1231，1233，1234，1235
Lomonossoff 罗蒙诺索夫，教授，767
L' Orange, P. 洛朗热，1008
Lovelace, A. A. 洛夫莱斯，伯爵夫人，1178，1194，1199，1201
Lovell, Sir B. 洛弗尔，990
Lowenstein, F. 洛温斯坦，1097
Lucas, G. H. W. 卢卡斯，1338
Lumière, A. L. 吕米埃，1296
Luscombe, D. A. 勒斯科姆，805
Luthi, R. 吕蒂，1342

McAdam, J. L. 麦克亚当，873
McCarthy, J. F. 麦卡锡，1359
McGee, J. D. 麦吉，1260
MacKenzie, J. 麦肯齐，1344
McKesson, E. I. 麦克森，1334
Mackie, W. 麦凯，1330
McMillan, E. M. 麦克米伦，1332
Mach, E. 马赫，853
Magill, I. 玛吉尔，1334
Maillart, R. 马亚尔，934
Manly, C. 曼利，1010
Mannes, L. 曼内斯，1297
Mannock, E. 曼诺克，795
Marconi, G. 马可尼，838，1231—1235，1243—1244，1249，1252
Marseille, H. J. 马赛，813
Marsh, A. L. 马什，1133
Marston, A. 马斯顿，A.，1386—1387
Marston, W. M. 马斯顿，W. M.，1343
Martin, A. J. P. 马丁，A. J. P.，1210
Martin, C. H. 马丁，C. H.，723

Martin, G. 马丁，G.，829

Martin, H. E. 马丁，H. E.，1356

Marton, L. L. 马顿，1351，1352，1353

Maskelyne, N. 马斯基林，1150

Matsuzaki, K. 松崎清，1158

Mauchly, J. W. 毛希利，1188，1200

Maudslay, H. 莫兹利，1041，1050

Maughan, B. W. 莫恩，1142

Maurice, P. 莫里斯，1342

Maxim, Sir H. 马克沁，1129

Maximilian I 马克西米利安一世，巴伐利亚选帝侯，1127

Maxwell, J.C. 麦克斯韦，1112，1113，1231，1247

Maybach, W. 迈巴赫，999，1000

Mège-Mouriés, H. 梅热 - 穆列斯，1400

Meinesz, F. A. V. 梅因纳斯，1463

Meltzer, S. J. 梅尔策，1334

Merz, C. 默茨，1068，1086

Messerschmitt, W. 梅塞施米特，810

Michell, A. G. M. 米歇尔，988

Midgly, T. 米奇利，989

Miethe, A. 米特，1282

Mihály, D. von 冯米哈利，1259

Mills, F. W. 米尔斯，F. W.，1285

Mills, J. 米尔斯，J.，1336

Miner, W. M. 迈纳，1240

Mitchell, R. J. 米切尔，R. J.，812

Mitchell, W. 米切尔，W.，811

Moede, W. 默德，1058

Moore, G. T. 穆尔，1377

Mergenthaler, O. 默根特勒，1272

Morland, Sir S. 莫兰，1161

Morris, W. 莫里斯，1274

Morton, G. A. 莫顿，1105

Moss, S. H. 莫斯，1020—1021

Moulton Lord 莫尔顿，1179

Mouras, L. 穆拉，1394
Mueller, M. 米勒，819
Muller, W. 米勒，717
Munro, J. M. H. 芒罗，1391
Munters, C. 蒙特斯，1146
Muntz, A. 蒙茨，1387
Mushin, W. W. 穆辛，1348

Napier, J. 内皮尔，梅奇斯顿的男爵，1151—1153
Napoleon III 拿破仑三世，法国皇帝，1400
Needham, J. 李约瑟，859
Nervi, P. L. 内尔维，935，951
Nesfield, V. 内斯菲尔德，1377
Neuman, J. von 诺伊曼，1190，1191—1193，1194，1196—1197，1198，1199
Newall, J. W. 纽沃尔，1053
Newton, I. 牛顿，859
Nipkow, P. 尼普科，1258
Nishizawa, H. 西泽，813
Nobile, U. 诺比莱，797
Northrop, J. K. 诺思罗普，810
Norton, C. H. 诺顿，C. H.，1035，1041—1044，1048，1050
Norton, W. P. 诺顿，W. P.，1036
Norway, N. S. 诺韦，1064
Nowotry, W. 诺沃特尼，813
Nyquist, H. 奈奎斯特，1248

Oberg, J. E. 奥伯格，865
Oberth, H. 奥伯特，859，860
Oemichen, E. 厄米肯，822
Ohain, H. von 奥海恩，819，1019
Ohdner, W. T. 奥德纳，1164
Olds, R. E. 奥尔兹，714
Opel, F. von 奥佩尔，821，859
Oppenheimer, J. R. 奥本海默，858
Ormsby, M. T. M. 奥姆斯比，1385

Otzen, R. 奥岑，872

Papanicolaou, G. N. 帕帕尼科拉乌，1356
Parker, J. 帕克，1038
Parmelee, J. M. 帕米利，1168
Parsons, C. A. 帕森斯，987，1025，1028，1030，1033，1069
Pascal, B. 帕斯卡，1151，1159，1162
Pasteur, L. 巴斯德，1355，1387，1401
Paterson, W. 佩特森，1375
Patsayev, V. I. 帕采耶夫，857
Pattle, St. J. 帕特利，813
Pearson, K. 皮尔逊，1368
Penaud, A. 佩诺，808
Pepys, S. 佩皮斯，1151
Perret, J. J. 佩雷，1317
Perritt, R. 佩里特，1353
Perry, J. 佩里，1257
Pescara, R. de Pateras 佩斯卡拉，822，991
Peter, B. H. 彼得，779
Peter the Great 彼得大帝，1322
Piccard, A. 皮卡德，1456
Pinson, K. B. 平森，1337
Pischof, A. de 德皮朔夫，792
Pitot, H. 皮托，841
Planck, M. 普朗克，1092
Platz, R. 普拉茨，794
Pochabradsky, B. 波恰布拉斯基，1033
Popov, A. S. 波波夫，1233
Porsche, F. 保时捷，719
Porte, J. C. 波特，796
Poulsen, V. 波尔森，1235，1264，1315
Powers, J. 鲍尔斯，1181—1182，1200
Prandtl, L. 普朗特，793，987，1019
Prescott, Sir W. 普雷斯科特，1372
Puckle, O. S. 帕克尔，1261

Pupin, M. I. 普平，1114，1236，1242

Race, J. 雷斯，1378
Rajchman, J. 拉吉曼，1196
Randall, J. T. 兰德尔，1107
Rankine, W. J. M. 兰金，1368，1387
Raper, H. R. 雷珀，1328
Rappaport, M. B. 拉帕波尔，1348
Rateau, C. E. A. 拉托，1025，1028
Rawcliffe, G. H. 罗克利夫，1087
Rayleigh, Lord 瑞利，1239
Raymond, A. E. 雷蒙德，825
Reason, R. E. 里森，1050
Recklinghausen, H. von 雷克林豪森，1345
Reinecker, J. E. R. 赖内克尔，1039
Renard, C. 勒纳尔，822
Renard, Colonel 勒纳尔，上校，1052
Revière, J. A. 雷维埃，1358
Ricardo, H. R. 里卡多，989，1008，1014
Rice, R. 赖斯，814
Richards, D. 理查兹，1357
Richardson, O. W. 理查森，1093
Richet, C. 里歇，821
Richthofen, M. von 里希特霍芬，795
Riedel, K. 里德尔，863
Riva-Rocci, S. 里瓦-罗奇，1344
Roberts, A. 罗伯茨，1057
Rohrbach, A. 罗尔巴赫，810
Rollins, W. H. 罗林斯，1328
Romer, P. H. 罗默，1330
Röntgen, W. K. 伦琴，1092，1299，1300，1327
Rosing, B. 罗辛，1258
Ross, Sir J. C. 罗斯，1446
Roth, L. 罗思，1288
Round, H. J. 朗德，1097，1101，1244

Rowbotham, E. S. 罗博特姆，1334
Rubel, I. 鲁贝尔，1269
Ruchonnet, E. 吕雄内，808
Rudenberg, G. R. 鲁登贝格，1350
Rühmer, E. 吕默，1310
Rutherford, E. 卢瑟福，1235，1469

Saby, J. S. 萨比，1119
Salmon, P. 萨蒙，1052
Salt, R. 索尔特，1335
Sang, E. 桑，1153
Santos, D. A. 桑托斯，791
Savigny, J. H. 萨维尼，1317
Sayen, H. L. 塞延，1330
Schaefer, K. L. 谢弗，1349
Scheiner, J. 沙伊纳，1283
Scheutz, E. 朔伊茨，E.，1174
Scheutz, G. 朔伊茨，G.，1174
Schlesinger, G. 施莱辛格，1051
Schlick, O. 施利克，986
Schlösing, T. 施勒辛，1387
Schmidt, O. L. 施密特，O.L.，1331
Schmidt, W. 施密特，W.，762
Schmued, E. 施穆德，814
Schottky, W. 肖特基，1101
Schreyer, H. 施赖尔，1193
Schutte, J. 舒特，799
Schwarz, D. 施瓦茨，797
Scott, L. 斯科特，1262
Scultetus, J. 斯卡尔特塔斯，1317
Seerig, A. W. H. 西里格，1317
Seguin, L. 塞甘，792，1011
Senlacq, M. 塞拉，1257
Serpollet, L. 塞波莱，721
Shannon, C. E. 香农，1187，1248

Shaw, P. 肖，872
Shearer, J. S. 希勒，1330
Shiemann, M. 希曼，732
Shipway, F. E. 希普韦，1337
Shockley, W. 肖克利，1119
Shone, I. 肖恩，1384
Short brothers 肖特兄弟，810
Siemens, E. W. von 西门子，1463
Sikorsky, I. I. 西科尔斯基，795，823—824
Simoni, D. 西莫尼，796
Slaby, A. C. H. 斯拉比，1233
Slater, W. A. 斯莱特，945
Smith, G. A. 史密斯，G. A.，1306
Smith, G. P. 史密斯，G. P.，1288
Smith, H. 史密斯，H.，794
Smith, K. 史密斯，K.，806
Smith, R. 史密斯，R.，806
Smith, W. 史密斯，W.，1257
Smuts, J. C. 斯穆茨，796
Snoek, J. L. 斯诺克，1198
Snook, H. C. 斯努克，1331
Snow, J. 斯诺，1334
Soiland, A. 瑟伊兰，1332
Southwell, R. V. 索思韦尔，945
Spangler, J. M. 斯潘格勒，1131
Sparks, M. 斯帕克斯，1119
Sperry, E. 斯佩里，E.，842，843，986
Sperry, L. 斯佩里，L.，817
Sprague, H. 斯普拉格，1348
Stanier, W. 斯塔尼尔，766
Stanley, F. A. 斯坦利，1049
Steiger, O. 斯泰格尔，1166，1171，1188
Steinbeck, M. 斯坦贝克，1332
Stevens, J. F. 史蒂文斯，913
Stibitz, G. R. 斯蒂比茨，1187

Stodola, A. 斯托多拉，984
Stone, R. 斯通，1332
Stout, W. B. 斯托特，730
Stowe, W. H. 斯托，1323
Strasser, P. 斯特拉瑟，799
Strowger, A. B. 斯特罗夫格，1226，1245
Sundstrand, D. 松德斯特兰德，D.，1170
Sundstrand, O. 松德斯特兰德，O.，1170
Swann, H. 斯旺，1357
Swinton, A. A. C. 斯温顿，1258—1259

Talbot, A. N. 塔尔博特，945
Tank, K. 汤克，811
Taylor, C. G. 泰勒，C. G.，804
Taylor, F. W. 泰勒，F. W.，1037，1046，1047
Teal, G. K. 蒂尔，1119
Tellegen, B. D. H. 特勒根，1102
Tellier, C. 特列尔，1400
Tesla, N. 特斯拉，1086，1128
Terzaghi, K. 泰尔扎吉，946，1366
Thomas, G. H. 托马斯，800
Thompson, B. 汤普森，B.，1126
Thompson, H.W. 汤普森，H.W.，1206
Thomson, E. 汤姆孙，E.，1331
Thomson, G. P. 汤姆孙，G. P.，1216
Thomson, J. J. 汤姆孙，J. J.，1092
Thorek, M. 托雷克，1319
Tiernan, M. F. 蒂尔南，1377，1378
Torroja, E. 托罗哈，951
Towler, F. 托勒，F.，1061
Towler, J. 托勒，J.，1061
Traube, A. 特劳贝，1282，1297
Trenchard, Sir H. 特伦查德尔，811
Troncet, G. 特龙塞特，1161
Truax, C. 特鲁阿克斯，1317

Tsiolkovski, K. 齐奥尔科夫斯基，859，860
Tswett, M. S. 茨韦特，1210
Turing, A. M. 图灵，1153，1183，1193，1194，1199

Ulm, C. T. P. 乌尔姆，806
Underwood, W. 安德伍德，1400
Unwin, W. C. 昂温，1368
Upson, R. H. 厄普森，798
Ursinus, O. 乌尔西努斯，806

Vance, A. W. 万斯，1352
Veder, C. 维德，891
Veksler, V. 韦克斯勒，1332
Verne, J. 凡尔纳，859
Victoria 维多利亚，女王，1025
Vogel, H. 沃格尔，1283
Voisin, C. 瓦赞，C.，791
Voisin, G. 瓦赞，G.，791
Volkov, V. N. 沃尔科夫，857

Wagner, H，A. 瓦格纳，810，1019
Wales 威尔士，亲王（乔治五世），922
Walford, C. 沃尔福德，1153
Walker, O. S. 沃克，1044
Wallace, C. F. 华莱士，1377，1378
Waller, A. 瓦勒，1340
Walter, L. 沃尔特，1105
Waring, R. S. 韦林，1074
Warington, R. 韦林顿，1387
Waters, R. M. 沃特斯，1334，1335
Watson, J. D. 沃森，J. D.，1394
Watson, T. J. 沃森，T. J.，1181
Watson-Watt, Sir R. 沃森-瓦特，845
Watt, J. 瓦特，989
Webb, J. E. 韦布，858

Wegener, A. 魏格纳，1454
Wehnelt, A. 韦内尔特，1093
Weir, Lord 韦尔，771
Weiss, J. 魏斯，808
Wells, E. C. 韦尔斯，829
Welsbach, A. von 韦尔斯巴赫，1083，1128
White, E. 怀特，E.，857
White, H. 怀特，H.，1331
White, M. 怀特，M.，1037，1048
Whittle, F. 惠特尔，819，990，1018—1019
Whitworth, J. 惠特沃思，1050，1131
Wibault, M. 维博尔，810，834
Wilkes, M. V. 威尔克斯，1193，1199
Willans, P. W. 威兰斯，1070
Williams, F. C. 威廉斯，F. C.，1193，1196
Williams, F. H. 威廉斯，F. H.，1331
Williams, H. B. 威廉斯，H. B.，1341
Williams, L. 威廉斯，L.，1324
Wilmanns, G. 维尔曼斯，1298
Wiseman, B. K. 怀斯曼，1333
Witherbee, W. D. 威瑟比，1330
Wohler, A. 沃勒，985
Wölfert, K. 沃尔弗特，796
Wood, H. W. 伍德，H. W.，1278
Wood, R. W. 伍德，R. W.，1295
Wood, T. N. 伍德，T. N.，1158
Worden, A. 沃登，868
Wright brothers 莱特兄弟，699，789，791，796，838，861，1010
Wright, M. D. 赖特，865
Wynn-Williams, C. E. 温-威廉斯，1188

Yeager, C. E. 耶格尔，830
Young, A. D. 扬，824

Zachow, O. 察霍，726

Zeiss, C. 蔡司，1354

Zeppelin, Count F.von 齐伯林，797，799

Zobel, O. J. 佐贝尔，1114

Zuse, K. 楚泽，1193

Zworykin, V. K. 兹沃里金，1105，1106，1260



第Ⅶ卷译后记

译校团队在炎热的酷暑开始工作，终于在超强台风“利奇马”从大连边缘掠过，给大连喜降甘霖、秋风送爽之际，完成了牛津版《技术史》全八卷第Ⅶ卷的译校任务。

我们承担的《技术史》七卷本第Ⅶ卷的译校工作，已经过去15年之久了。回望这部鸿篇巨制，不禁感慨万端。第Ⅶ卷作为《技术史》“20世纪下”，虽然只是记述世界技术史在20世纪上半叶进程的部分内容，但足以显示第Ⅵ卷、第Ⅶ卷的主编特雷弗·I. 威廉斯（Trevor I. Williams，1921.07.16—1996.10.12）决定编著20世纪技术史的远见卓识。

第Ⅵ卷和第Ⅶ卷将人类技术从远古蒙昧及野蛮时代到中古文明时代及中世纪，从文艺复兴到工业革命时代，进而从电气技术革命时代，推进到20世纪上半叶现代技术革命时代。一系列全新技术借助两次世界大战脱颖而出，形成了由电子信息和电子计算机技术、原子弹和核能技术、导航及火箭导弹技术、航空和人造卫星及航天技术以及深海探测技术等构成的新兴技术体系。这一时期，传统的交通运输、土木建筑、机械、仪器、电力、流体动力、印刷等也获得新的重大进展。第Ⅶ卷还概述了工程的科学基础、城镇规划、生产工程和社会生活相关的家用电器、摄影与电影摄影、医疗、供水与污水处理、食品

加工等方面的技术进展，其中，某些技术的内容实际上已写到编撰本卷的20世纪70年代。最后，第58章讨论了技术与生活质量的关系。由主编威廉斯撰写的这最后一章，在总结20世纪技术的社会影响时，指出历史上的技术进步与创新，归根结底是为了提高人的福祉和生活质量。他以交通技术为例，阐明技术本身要不断赋予和满足人的自由，同时技术又要不断减轻环境和能源两方面的压力，从而揭示技术进步的本质是尽可能在节约能源与保护环境的约束条件下最大程度地谋求人的解放和自由。如今离第Ⅵ卷和第Ⅶ卷截止的1950年又过去了70年，微电子与集成电路芯片、互联网、数字化、大数据、移动通信、人工智能、智能制造、智慧城市等又一系列激动人心的高新技术迅速崛起，突飞猛进。如果威廉斯健在，也许他会跃跃欲试，继续主编人类进入20世纪下半叶的技术史新篇章。

追溯《技术史》第Ⅶ卷的翻译工作，我们起步于20世纪90年代。当时第Ⅶ卷曾分为上、下两册，分别由大连理工大学和华中理工大学（现华中科技大学）两校的学者翻译，并由两校出版社分别出版。

参与上册译校的学者有：林康义、方海宁、卢琅华、王子强、俞可怀、童光燧、周晖、周全保、唐永强译；刘则渊、孙希忠、林康义审校。

参与下册译校的学者有：苏子仪、部承远、熊敦礼、杨长桂译；刘云程、黄美琳审校。

2004年上海科技教育出版社决定翻译出版牛津版《技术史》第Ⅰ卷至第Ⅶ卷。由大连理工大学负责第Ⅶ卷的重新翻译工作，但参考了20世纪90年代两校的中译本。这次译校团队的成员有：蔡小慎、王慧莉、陈悦、高桂珍、李晓伟、杨伟雄、陈祖建、郑庆信、钱文霖、徐启阳、常业基、舒晓旗、曾广武、蔡德钧、石冰心译；刘则渊、孙希忠审校。

2018年，中国工人出版社决定在中国第一次完整出版牛津版

《技术史》全八卷，新增了索引卷。大连理工大学承担第Ⅶ卷译校及与本卷相关的第Ⅷ卷索引条目审核，刘则渊、蔡小慎组织王慧莉、陈悦和郭涵宁进行译校，并审核第Ⅷ卷中的相关索引条目。这次译校工作主要以孙希忠等译校的《技术史》七卷本第Ⅶ卷为基础。由于任务重、时间紧，我们邀请了相关人员进行协助。能为这部世界名著《技术史》全八卷在中国的问世贡献自己的绵薄之力，我们全体译校者感到无比自豪。在此，我谨向参加本卷译校的全体人员表示诚挚的感谢。

刘则渊

2019年8月21日于大连新新园